

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra částí a mechanismů strojů



**INOVACE UPÍNACÍHO MECHANISMU A ZAKLÁDACÍHO LOŽE
ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVACÍHO STROJE**

**ULTRASONIC WELDING MACHINE CLAMPING MECHANISM
AND LOADING BED INNOVATION**

DIPLOMOVÁ PRÁCE



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení	Bc. Jozef ČIČO
Studijní program:	N2301 – Strojní inženýrství
Obor	3909T010 - Inovační inženýrství
Zaměření	Inovace výrobků

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

Inovace upínacího mechanismu a základacího lože, ultrazvukového svařovacího stroje

Zásady pro vypracování:

Inovujte stávající jednoúčelové svařovací zařízení tak, aby bylo docíleno přesných spár mezi jednotlivými díly svařence a zaručení stability stroje.

1. Představení úkolu (cíl, seznámení s výrobkem, strojem a stávajícím řešením)
2. Provedení analýzy současného stavu (3D skener)
3. Návrh pěti řešení, zhodnocení jednotlivých variant a výběr nejlepšího řešení.
4. Rozpracování konečné varianty (popis funkčnosti, konstrukce)
5. Ekonomické zhodnocení
6. Závěrečné zhodnocení

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):

Mašín, I. – Ševčík, L.: *Metody inovačního inženýrství*. IPI 2006

Pešík, L.: *Části strojů. 1. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-938-4

Pešík, L.: *Části strojů. 2. díl*. Liberec, TU 2005. ISBN 80-7083-939-2

Leinveber, J. – Vávra, P.: *Strojnické tabulky*. Albra, Úvaly 2005. ISBN 80-736-01-6

Rosenau, M., D.: *Řízení projektu*. Brno: Computer Press, a.s., 2007. 344s. ISBN 978-80-251-1506-0

Zelený, J.: *Stavba strojů – strojní součásti*. Brno: Computer Press, a.s., 2000. ISBN 80-7226-311-0

Databáze knihovny TUL

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Michal Petrů, Ph.D.**

Konzultant diplomové práce: **Ing. Jiří Habr**


prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry




Doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.
děkan

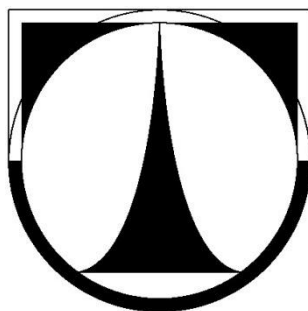
V Liberci dne 7.1.2013

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

FAKULTA STROJNÍ

Katedra částí a mechanismů strojů



Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Obor: 3909T010 – Inovační inženýrství

Zaměření: Inovace výrobku

INOVACE UPÍNACÍHO MECHANISMU A ZAKLÁDACÍHO LOŽE ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVACÍHO STROJE

ULTRASONIC WELDING MACHINE CLAMPING MECHANISM AND LOADING BED INNOVATION

Diplomová práce

Bc. Jozef Čičo

Vedoucí diplomové práce: Ing. Michal Petrů, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

Počet stran: 67

Počet obrázků: 78

Počet tabulek: 4

Počet grafů: 6

Počet příloh: 6

Datum: 22. 5. 2013

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá inovací systému upínání a svařování jednotlivých plastových dílů odkládací schránky spolujezdce Audi B8 na jednoúčelovém svařovacím stroji Branson. Cílem diplomové práce je eliminovat nestejnou spáru a plošnou návaznost mezi víkem odkládací schránky a bočnicí (blendou). Výchozím bodem pro návrh inovace, jež řeší systém upínání jednotlivých plastových dílů do svařovacího lože, jsou poznatky získané z analýzy původního stavu. Analýza byla provedena pomocí termokamery, siloměru a 3D skeneru ATOS. Výsledkem práce je nové konstrukční řešení upínání plastových dílů, které nejenom sníží náklady na zmetkovitost, ale také celkově zvýší jakost plastového svařence a zefektivní proces výroby na svařovacím stroji Branson.

KLÍČOVÁ SLOVA

ultrazvukové svařování; svařovací stroj; základací lože; odkládací schránka; bočnice; spára

ABSTRACT

Ultrasonic welding machine clamping mechanism and loading bed innovation deals with the innovation of the clamping and welding of plastic parts of the glove box of the front passenger in Audi B8 on a single purpose welding machine Branson. The aim of the thesis is to eliminate the uneven gap and the mass continuity between the lid and the side of the glove box (Blend). The starting point for the design innovations that address the clamping system of plastic parts in welding bed, is the knowledge gained from the analysis of the initial state. The analysis was performed using a thermal imager, dynamometer and a 3D scanner ATOS. The result of the thesis is a new design solution of the clamping of the plastic parts, which not only reduces the costs of the scrap but also generally increases the quality of the plastic weldment and streamlines the production process on the welding machine Branson.

KEY WORDS

ultrasonic welding, welding machine, loading bed, glove box, blend, weldment

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy a užití mé DP a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé diplomové práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědom toho, že užit své diplomové práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci dne:

Jozef Čičo

Místopřísežné prohlášení

„Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.“

V Liberci dne:

Jozef Čičo

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval vedoucímu své diplomové práce panu Ing. Michalu Petřu, Ph.D., z katedry částí a mechanismů strojů TU Liberec, za poskytnutý čas a připomínky. Rovněž bych chtěl poděkovat firmě Magna Exteriors & Interieors (Bohemia) s.r.o., pod jejíž hlavičkou mohla být diplomová práce vypracována.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	10
SEZNAM GRAFŮ.....	12
SEZNAM TABULEK.....	12
SEZNAM SYMBOLŮ A JEDNOTEK.....	13
1 ÚVOD	14
2 CÍL PRÁCE.....	15
3 ULTRAZVUK PRO SPOJOVÁNÍ PLASTŮ.....	16
3.1 HISTORIE ULTRAZVUKU.....	16
3.2 ULTRAZVUKOVÉ VLNY.....	17
3.3 VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO KMITÁNÍ	17
3.4 FYZIKÁLNÍ ZÁSADY	18
3.4.1 <i>Kmity a vlny</i>	18
3.4.2 <i>Druhy kmitání</i>	19
3.5 VÝROBA ULTRAZVUKU.....	20
3.5.1 <i>Akustický měnič</i>	20
3.5.2 <i>Generátor</i>	21
3.5.3 <i>Zásobování proudem</i>	22
3.6 POPIS MODERNÍHO SYSTÉMU ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ.....	23
3.6.1 <i>Zásady</i>	23
4 ULTRAZVUKOVÝ SVAŘOVACÍ STROJ	24
4.1 POPIS A POUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVACÍHO STROJE.....	24
4.2 POPIS NÁSTROJE – SVAŘOVACÍ KAZETA.....	26
4.3 POSTUP SVAŘOVÁNÍ	29
4.4 POPIS VÝROBKU – ODKLÁDACÍ SCHRÁNKA SPOLUJEZDCE V AUTOMOBILU	30
4.5 PROBLEMATIKA ZVOLENÉHO VÝROBKU	31
4.5.1 <i>Rozměrová a silová analýza svařence</i>	31
4.5.2 <i>Analýza svařence prostřednictvím termokamery</i>	35
4.5.3 <i>Tvarová analýza základacího lože za pomoci 3D scanneru ATOS Triple scan</i> ...	38
5 PĚT NÁVRHŮ INOVACÍ SVAŘOVACÍHO A ZAKLÁDACÍHO LOŽE.....	46

5.1	VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY	47
5.1.1	<i>Analýza svařence prostřednictvím termokamery po aplikaci nových dílů svařovacího lože.....</i>	<i>53</i>
6	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	54
6.1	VÝPOČET TLAKU VZDUCHU.....	56
7	DEFORMACE BLENDY V SIMULAČNÍM SOFTWARE ANSYS.....	57
8	VYČÍSLENÍ FINANČNÍ ÚSPORY	60
9	ZÁVĚR.....	61
10	POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE.....	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Zachycení pohybu kyvadla pomocí diagramu, kde výsledkem je sinusoida	18
Obr. 2 Zobrazení podélných vln.....	19
Obr. 3 Zobrazení příčných (transverzálních) vln.....	19
Obr. 4 Převedení elektrické energie na mechanické kmity.....	20
Obr. 5 Pět stupňů ultrazvukového svařování.....	23
Obr. 6 Ultrazvukový svařovací stroj	24
Obr. 7 Odkládací schránka spolujezdce.....	25
Obr. 8 Odkládací schránka spolujezdce – sestava	25
Obr. 9 Rozměrový náčrtek - pohled zleva / zepředu.....	25
Obr. 10 Základací lože svařovacího stroje.....	26
Obr. 11 Pozice sonotrod pro přivaření bočnice	27
Obr. 12 Pozice sonotrod pro přivaření filcu.....	27
Obr. 13 Základací svařovací lože Branson	27
Obr. 14 Svařovací jednotka	28
Obr. 15 Optická čidla.....	28
Obr. 16 Svařovací jednotka - detail	28
Obr. 17 Obrazovka řídicího panelu s průběhem svařování.....	29
Obr. 18 Zkompletovaná schránka se zvukoizolačním filcem	29
Obr. 19 Najetá svařovací jednotka do pracovní polohy.....	29
Obr. 20 Kompletní sestava odkládací schránky spolujezdce	30
Obr. 21 Pozice žeber a pinů pro rozvaření a spojení blendy a odkládací schránky	30
Obr. 22 Kompletní svařenec odkládací schránky spolujezdce	30
Obr. 23 Měřicí přípravek - cubing.....	31
Obr. 24 Kalibr na měření spáry.....	31
Obr. 25 Pozice kontrolních bodů pro měření spáry pomocí kalibru.....	32
Obr. 26a, b, c Měření spáry v kontrolních bodech č. 1, 2, 3.....	32
Obr. 27 Pozice bodu pro měření síly potřebné k uzavření schránky.....	34
Obr. 28 Siloměr.....	34
Obr. 29a, b Termokamera - ThermoCAM P65	35
Obr. 30 Pohled na díl ze spodní strany (tam, kde probíhá rozvaření vlastních pinů).....	36
Obr. 31 Pohled na díl ze spodní strany 15 sekund po svaření.....	36
Obr. 32 Pohled na díl z horní pohledové strany	36
Obr. 33 Pohled na díl z horní pohledové strany po 15 sekundách	37
Obr. 34 Pohled do otevřené schránky ihned po svaření.....	37
Obr. 35 Pohled do otevřené schránky 15 sekund po svaření.....	37
Obr. 36 ATOS Triple scan	38
Obr. 37 Vyjmutí kazety ze svařovacího stroje.....	40
Obr. 38 Zavěšení svařovací jednotky na jeřáb a vyjmutí základacího lože.....	40
Obr. 39 Samostatná svařovací jednotka.....	40
Obr. 40 Čištění svařovacího lůžka	41
Obr. 41 Nanášení křídové antireflexní vrstvy	41
Obr. 42 Detail referenčních bodů.....	41
Obr. 43 Lože polepené referenčními body.....	41
Obr. 44 Kalibrace pomocí panelu.....	42
Obr. 45 Promítnutí vzoru proužků ze senzoru	42
Obr. 46 Průběh skenování lože na obrazovce monitoru	43
Obr. 47 Spojení několika záběrů dohromady při skenování tvarově složitěho dílu - lože.....	43

Obr. 48 Vygenerovaný soubor polygonální sítě STL	44
Obr. 49 Porovnání a vyhodnocení získané polygonální sítě s původním 3D modelem.....	44
Obr. 50a,b Levá část lože - porovnání s původními 3D daty.....	45
Obr. 51 Odchylka tvaru do minusových hodnot	45
Obr. 52 Varianta č. 1	46
Obr. 53 Varianta č. 2	46
Obr. 54 Varianta č. 3	46
Obr. 55 Varianta č. 4	46
Obr. 56 Varianta č. 5 – nejvhodnější návrh	47
Obr. 59 Montáž nových dílů základacího lože - část lože	49
Obr. 57 3D model pro výrobu nového dílu základací lože	49
Obr. 58 3D model pro výrobu mosazné lišty	49
Obr. 60 Mosazná rozpěrná lišta mezi bočnicí a víko odkládací schránky	49
Obr. 61 Založení bočnice (blendy) a víka odkládací schránky do svařovacího lože s namontovanou mosaznou lištou.....	50
Obr. 62 Měření deformace dílu v dolní části víka při dotlačení z levé strany.....	50
Obr. 63 Měření deformace dílu v horní části víka při dotlačení z levé strany	51
Obr. 64 Pohled na díl ze spodní strany (tam, kde probíhá rozvaření vlastních pinů) po aplikaci nové části svařovacího lože a mosazné lišty.....	53
Obr. 65 Pohled do otevřené schránky ihned po svaření po aplikaci nové části svařovacího lože a mosazné lišty.....	53
Obr. 66 Výsledné konstrukční řešení svařovacího lože.....	54
Obr. 67 Bočnice založená do svařovacího lože	55
Obr. 68 Bočnice a vnější víko odkládací schránky vložené do lože	55
Obr. 69 Třetí díl sestavy - vnitřní víko odkládací schránky.....	55
Obr. 70 Kompletní sestava se sjetými sonotrodami do svařovací polohy	55
Obr. 71 Definování mechanických vlastností materiálu Pulse A 35-105 v prostředí ANSYS Workbench.....	57
Obr. 72 Simulační rozhraní programového software ANSYS Workbench – konečněprvkový model.....	57
Obr. 73 Definování okrajových podmínek - zavedení uložení a působící síly	58
Obr. 74 Rozložení průběhu napětí podle hypotézy HMM (Huber, Mises, Hencky).....	58
Obr. 75 Rozložení průběhu přetvoření	58
Obr. 76 Maximální napětí podle hypotézy HMM = 26,23 MPa.....	58
Obr. 77 Rozložení minimální bezpečnosti $K=1,9$	59
Obr. 78 Kompletní svařenec odkládací schránky spolekve ve vozidle Audi B8.....	60

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 <i>Měření spáry v bodě č. 1</i>	33
Graf 2 <i>Měření spáry v bodě č. 2</i>	33
Graf 3 <i>Měření spáry v bodě č. 3</i>	33
Graf 4 <i>Závislost uzavírací síly na velikosti spáry</i>	35
Graf 5 <i>Závislost deformace v horní části víka na velikosti dotlačující síly</i>	52
Graf 6 <i>Závislost deformace v dolní části víka na velikosti dotlačující síly</i>	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 <i>Minimální hodnoty energií pro zásobování stroje</i>	25
Tab. 2 <i>Pracovní postup se systémem ATOS</i>	39
Tab. 3 <i>Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptu</i>	48
Tab. 4 <i>Velikost dotlačující síly a průhyb v horní a dolní části středu víka</i>	51

SEZNAM SYMBOLŮ A JEDNOTEK

f	... frekvence	$[s^{-1}]$
ω	... úhlová frekvence $=2\pi f$	$[rad \cdot s^{-1}]$
ρ	... hustota	$[kgm^{-3}]$
c	... rychlost zvuku	$[ms^{-1}]$
c_L	... rychlost zvuku podélných vln	$[ms^{-1}]$
c_T	... rychlost zvuku příčných vln	$[ms^{-1}]$
λ	... vlnová délka	$[m]$
A	... maximální amplituda	$[\mu m]$
v	... maximální rychlost částic	$[ms^{-1}]$
E	... energie	$[J]$
F	... síla	$[N]$
D	... průměr válce	$[mm]$
d	... průměr pístnice	$[mm]$
p	... provozní tlak	$[Pa]$
H	... zdvih pístu	$[mm]$
N	... počet zdvihů za minutu	$[1/min]$
π	... matematická konstanta	$[-]$
η	... účinnost	$[-]$
k	... bezpečnost	
ABS	... akrylonitrilbutadienstyren	
HMH	... Huber – Mises – Hencky	
MKP	... metoda konečných prvků	

1 ÚVOD

V každé technické výrobě dochází k výrobním vadám a potížím, které se projevují v podobě neshodných dílů a ztrát. Za neshodný díl je třeba označit každý výrobek, který neodpovídá svými vlastnostmi potřebám svého určení, přesněji řečeno technickým podmínkám, které jsou stanoveny vzájemnou dohodou mezi výrobcem a odběratelem. Vady plastových svařenců znamenají velké finanční ztráty ve výrobě. Je tedy nutné co nejvíce omezit vznik a výskyt těchto výrobních vad, v nejlepším případě je úplně odstranit.

Postupné zvyšování výkonnosti svařovacích strojů a zrychlování celého procesu svařování vede k riziku, že vznikne velké množství neshodných dílů během krátkého časového úseku. Cyklus, který začíná založením jednotlivých dílů do svařovacího lůžka a končí vyjmutím svařence, trvá pouze 50 sekund. Veškeré díly vstupující do tohoto procesu musí být stoprocentní. Zároveň musí být svařovací stroj stabilní a zakládací lože schopné vymezit rozměrovou variabilitu plastových výlisků, které se pohybují na horní popř. dolní rozměrové toleranční mezi.

Práce s názvem *Inovace upínacího mechanismu a zakládacího lože ultrazvukového svařovacího stroje* se bude snažit vyřešit nestabilitu stroje Branson a neschopnost zakládacího lože minimalizovat vliv rozměrové nestability plastových výlisků na konečnou kvalitu celého svařence – odkládací schránky spolujezdce v automobilu.

První část práce je zaměřena na popis ultrazvukového svařování a rozbor výrobku, který podléhá častým reklamacím ze strany zákazníka. U výrobku dochází k nesejnoměrné spáře a plošné návaznosti mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky. V další části práce bude výrobek podroben silové, rozměrové a tepelné analýze, které odhalí možné důvody vzniku rozměrových a tvarových vad. Následně dojde k tvarové analýze zakládacího lože pomocí 3D skeneru ATOS. Po vyhodnocení těchto měření bude navrženo pět variant možného zakládání a upínání jednotlivých plastových dílů svařence do zakládacího lože. Z těchto pěti variant bude vybrána varianta, která podle rozhodovací tabulky vyjde nejlépe a na ní bude realizován celý zbytek projektu.

2 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je:

1. seznámit s ultrazvukovým svařováním plastových dílů,
2. popsat problematiku výrobku – odkládací schránky spolujezdce pomocí rozměrové, silové a tepelné analýzy,
3. prozkoumat základací lože ultrazvukového svařovacího stroje Branson za pomoci technologie 3D skenování a zjistit důvod, proč dochází k rozměrově nestabilním svařencům,
4. navrhnout nový způsob upínání dílů ve svařovacím loži a tvarovou úpravu lože tak, aby spára a plošná návaznost bočnice (blendy) a víka odkládací schránky odpovídala požadavku zákazníka,
5. zhodnotit úspěšnost projektu vyčíslením finanční úspory.

Diplomová práce si stanovila tyto cíle a snaží se je naplnit takovým způsobem, aby došlo k odstranění vysoké zmetkovitosti na svařovacím stroji Branson. V první části práce seznámí čtenáře s technologií ultrazvukového svařování. Následně bude podrobně rozebrána problematika nesouměrné spáry a plošné návaznosti mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky spolujezdce v automobilu pomocí rozměrové, silové a tepelné analýzy. Rovněž bude provedena tvarová analýza základacího lože za pomoci 3D skeneru ATOS a výsledek bude porovnán s původními daty, které byly výrobcí zadány. Na základě výsledků předchozích měření bude navržena inovace základacího lože svařovacího stroje. V závěru práce dojde k ekonomickému zhodnocení celého projektu a vyčíslení úspory na základě snížení zmetkovitosti.

3 ULTRAZVUK PRO SPOJOVÁNÍ PLASTŮ

3.1 HISTORIE ULTRAZVUKU

Ve druhé polovině 19. století zaznamenala fyzika značný pokrok. Ke konci tohoto století existovala již celá řada vědeckých pojednání o zvuku, ale o ultrazvuku jen několik nepřesných údajů. Po objevu piezoelektrického efektu bratry Curie v roce 1880 došlo v případě různých materiálů k pochopení souvislosti mezi elektřinou a mechanickým kmitáním, ale tento poznatek zůstal více než 35 let nevyužit. V roce 1883 popsal Galton ultrazvukovou píšťalu pro bezhlučný přenos signálu. Jejím dnešním následníkem je ultrazvuková píšťala pro psy, kteří vnímají lidskému uchu neslyšné signály. Na přelomu století se pak přírodovědcům podařilo vyvinout pomocí tenké vidlice ultrazvukovou frekvenci až do 90 kHz.

V průběhu první světové války vyvinul francouzský vědec Paul Langevin metodu pro určování polohy potopených ponorek. Používal k tomu přístroje, které produkovaly elektrickou ultrazvukovou energii. Tuto energii elektrických impulsů měnil na mechanické ultrazvukové kmitání pomocí piezoelektrického prvku umístěného na spodku lodi. Pokud tyto kmity dosáhly na potopenou ponorku, vracely se a byly pomocí speciálního přijímače zachyceny jako ozvěna. Doba, která uběhla mezi vysláním signálu a příjmem ozvěny umožnila určit existenci a stanovit vzdálenost ponorky. V roce 1920 byla tato metoda v poněkud pozměněné formě zavedena pro potřeby námořnictva k lokalizaci ledovců, tzv. Echolot.

Mezi lety 1920 a 1939 byla provedena řada zásadních objevů. Byla vyrobena a popsána kavitace v tekutinách a roztavených kovech (kavitace = jemné bublinky vzniklé pomocí silné ultrazvukové energie). Další objevy v oblasti elektrických spínacích obvodů a měničů kmitů umožnily průmyslové využití ultrazvuku po roce 1945.

V poměrně krátké době byly vyvinuty a začaly se vyrábět nejrůznější přístroje na bázi ultrazvuku: čističky, vrtací a svařovací zařízení, medicínské přístroje a na bázi Echolotu pak přístroje pro přezkušování materiálu.

3.2 ULTRAZVUKOVÉ VLNY

Ultrazvukové vlny jsou vlny o jisté frekvenci, které pokud přejdou z kmitajících těles do vzduchu, jsou dále přenosné vzduchem, však pro lidské ucho jsou neslyšitelné. Lidské ucho je může vnímat, pokud jsou ve frekvenčním rozsahu od 16/sec do 16000/sec (16 Hz 16 kHz). V plynech se zvukové vlny vyskytují jen ve formě podélných vln, protože molekuly plynu nejsou navzájem spojeny.

V prostorově neohraničeném mediu se zvukové vlny budou šířit do nekonečna, pouze jejich energie se bude vzhledem ke ztrátě pravidelně snižovat. V praxi toto ale nikdy nenastane, protože prostor bývá obvykle ohraničen. Obraz šíření zvuku není proto nikdy lineární: je charakterizován odražejícími se vlnami, jejichž průběh je velmi komplikovaný.

3.3 VYUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO KMITÁNÍ

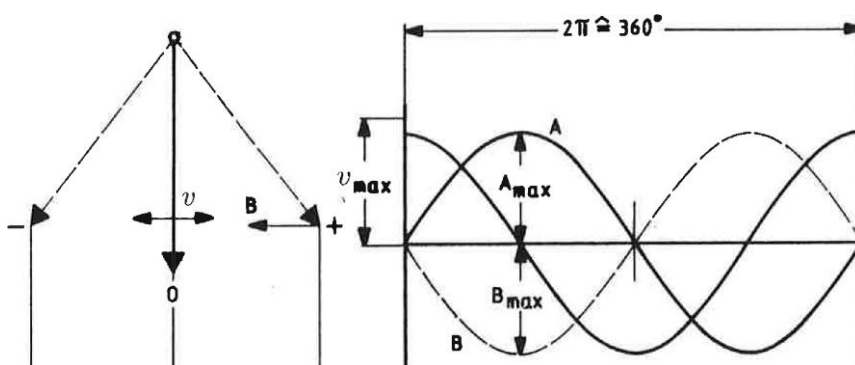
Je více důvodů, proč se při různých technikách aplikace dává přednost ultrazvukovým vlnám před normálními zvukovými.

1. Řada aplikací vyžaduje vysoký zvukový výkon. Ultrazvuk lze lépe použít, protože nemá žádné nepříjemné akustické projevy.
2. Vysoké ultrazvukové frekvence, jejichž výsledkem jsou velmi krátké vlnové délky, jsou vhodné k určování polohy. Čím vyšší je frekvence, tím kratší je vlnová délka a tím menší může být hledaný objekt.
3. Protože se zvuk o vysokých frekvencích šíří příměji nežli nízkofrekvenční, může být jeho působení při speciálních aplikacích přímé a intenzivní (např. svařování ultrazvukem).

3.4 FYZIKÁLNÍ ZÁSADY

3.4.1 Kmity a vlny

Jako kmitání lze označit pohyb masy, která je upevněna na jednom konci kyvadla, jehož druhý konec je pevně fixován. Pokud zachytíme tento pohyb pomocí diagramu (obr. 1), dostaneme sinusoidu. Sinusoida vznikne ale jen tehdy, jestliže cesta, kterou kyvadlo vykoná, roste proporcionálně s výkyvem. Takové kmitání se označuje jako elastické.



Obr. 1 Zachycení pohybu kyvadla pomocí diagramu, kde výsledkem je sinusoida

Maximální amplituda je definována maximálním výkyvem kyvadla a vypočte se: $A = v/\omega$. Rychlost zvuku c předbíhá maximální výkyv amplitudy časově o 90° , dosáhne tedy svého maxima v 0 průchodu kyvadla: $v = A \cdot \omega$. Zrychlení B má max. hodnotu, když je rychlost zvuku 0 a amplituda má maximální výkyv: $B = \omega \cdot v = \omega^2 \cdot A$. B dosáhne max. hodnoty v době max. amplitudy, ale s negativním znaménkem.

Kde:

A [μm].....maximální amplituda

v [ms^{-1}].....maximální rychlost částic

ω [s^{-1}].....úhlová frekvence

B [ms^{-2}].....maximální urychlení částic

3.4.2 Druhy kmitání

Ke své proměně na ultrazvuk používá zvuk v zásadě tři formy vln:

1. Podélné vlny (obr. 2)

Tyto vlny se mohou šířit ve všech plynných, kapalných a pevných tělesech. Šíří se axiálně ke směru buzení. Stejně fáze kmitu jsou definovány vlnovou délkou označovanou λ . Podélné vlny mají zajišťovat zejména nehmotný přenos energie při nasazení mechanických rezonátorů.

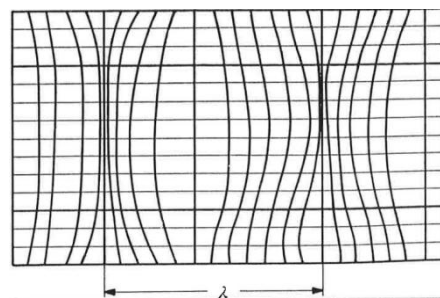
Rychlosti zvuku c_L u některých typických látek:

Al 6 300 ms⁻¹,

St 5 940 ms⁻¹,

Ti 5 800 ms⁻¹,

PMMA 2 730 ms⁻¹



Obr. 2 Zobrazení podélných vln

2. Příčné (transverzální) vlny (obr. 3)

Na rozdíl od podélných vln mohou tyto vlny vzniknout a šířit se pouze v pevných tělesech. Jsou to elektromagnetické a vysokofrekvenční vlny. Pro buzení příčné vlny je zapotřebí axiální síla. Pohyb této vlny probíhá v pravém úhlu ke zdroji buzení (příčný kmit). Zejména v oblasti svařování ultrazvukem jsou takové vlny nežádoucí a je třeba je potlačit; rozkmitány jsou totiž jen povrchové plochy sonotrod a energie se nikdy nedostane na spojovací plochu spotřebitelů energie.

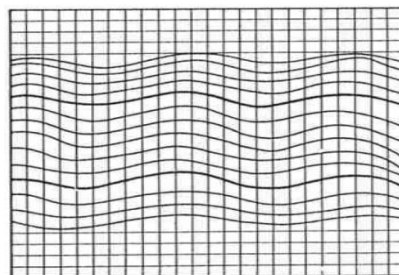
Rychlosti zvuku c_T u některých typických látek:

Al 3 080 ms⁻¹,

St 3 240 ms⁻¹,

Ti 2 800 ms⁻¹,

PMMA 1 430 ms⁻¹



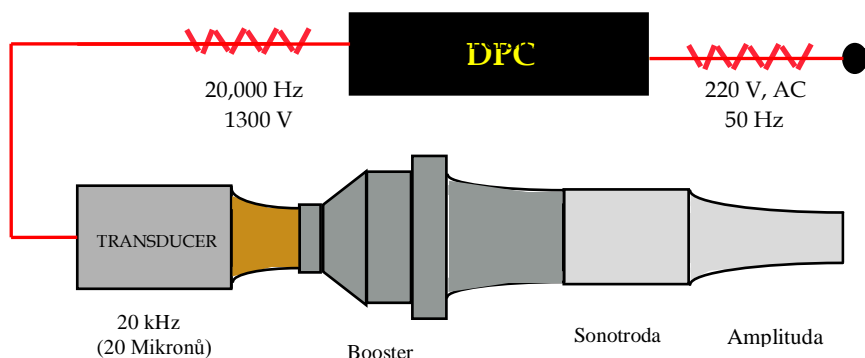
Obr. 3 Zobrazení příčných (transverzálních) vln

Z toho vyplývá tento poměr: $c_L/c_T \sim 2/1$

3.5 VÝROBA ULTRAZVUKU

Zvuk lze vyrobit mechanicky, např. úhozem činelů, drnkáním na strunu nebo nabuzením sloupce vzduchu. Elektronicky probíhá výroba zvuku s pomocí oscilátoru, zesilovače a reproduktoru, který mění elektrické kmity na mechanické, budí vzduch a šíří zvuk až k lidskému uchu.

I ultrazvuk lze vyrobit stejným mechanickým nebo elektronickým způsobem (obr. 4). Při elektronické výrobě se namísto reproduktoru uplatní konvertor nebo akustický měnič. U těchto konvertorů pak rozlišujeme dva naprosto odlišné systémy.



Obr. 4 Převedení elektrické energie na mechanické kmity

3.5.1 Akustický měnič

Jako elektromechanické oscilátory označujeme útvary, u kterých je vznik zvuku vyvolán pomocí elektrických nebo magnetických střídavých polí. Oscilátory samotné lze pak rozdělit na piezoelektrické destičky, zhušťovací vibrátory a radiální oscilátory.

Zhušťovací vibrátory jsou rezonátory ve formě desek nebo tyčí, které ve svém souhrnu mohou být nabuzeny k vlastnímu kmitání v podélném směru. Radiální oscilátory jsou takové, které nekmitají ve směru X , nýbrž ve směru Y , popř. ve směru osy Z .

Piezoelektrické kmitání

Piezoefekt, který v roce 1880 objevili bratři Curie, říká, že určité krystaly, které mají polární osu, to znamená, že mají ve směru této osy přírodní nebo uměle vytvořenou asymetrii pokud jde o vnitřní dielektrickou strukturu krystalů, mohou měnit svoji modifikaci respektive elektrickou situaci.

Materiál pro oscilátory:

- a) přírodní krystaly: monokrystal křemíku (SiO_2), Seignettova sůl, KOP (kalium-dyhydrogen-fosfát),
- b) umělé krystaly (keramické hmoty): barium titanitan, niobičnan lithia.

Uvedené látky, které se získávají v podobě krystalického prášku, se stejně jako porcelán vypalují a vznikají keramické díly. Tato tělesa nemají zpočátku žádnou polarizaci, přestože je elementární oblast struktury krystalů anizotropní. Tato asymetrie po vypálení je staticky libovolně rozdělena na všechny směry v celém tělese.

K polarizaci molekuly dojde při vložení elektrického pole o cca 10 kV / cm při stanovené teplotě. Elektrické dipóly se pak vyrovnají ve směru vloženého pole. Pokud se takto uspořádaná deska ochladí na okolní teplotu (při soustavném vkládání napětí), tak polarizace „zamrzne“, to znamená, že těleso má nyní pouze piezoelektrické vlastnosti. Depolarizační teplota u PZT je vyšší než 300°C.

3.5.2 Generátor

- a) V generátoru se mění elektrická energie o 50 Hz na elektrickou energii o 20 kHz.
- b) Konvertor mění elektrickou energii generátoru o 20 kHz na mechanickou energii, to znamená na kmitání o 20 kHz.
- c) Ultrazvukové kmitání se pak přes rezonanční díl přenáší do plastového dílu.

Pro přeměnu energie jsou tedy zásadní přenosové články – generátor, konvertor a rezonanční díl (sonotroda).

Pokud má být kmitání s vysokou účinností přenášeno od zdroje ke konkrétnímu pracovnímu místu, pak musí mít všechny články zúčastněné na přenosu sladěnou rezonanci a akustický odpor vln.

Rezonátor

Rezonátor (článek určující frekvenci) je útvar schopný kmitání, např. oscilační obvod nebo oscilační krystal, který svou vlastní frekvencí určuje frekvenci kmitání oscilátoru. Rezonátor začne kmitat, jakmile je nabuzen kmitáním, které odpovídá jeho vlastní frekvenci.

Na tomto místě je třeba poukázat na to, že akustické a mechanické veličiny vykazují analogii k elektrickým veličinám, a proto mohou být znázorněny v jednom záložním schématu zapojení. Stejně jako v elektrických obvodech vyskytují se v mechanických rezonančních obvodech vedle činných veličin i veličiny jalové.

Rezonanční frekvence adaptovaného systému schopného kmitu (sonotroda, booster, konvertor) tak určuje frekvenci sladěného generátoru.

3.5.3 Zásobování proudem

Napáječ se v zásadě dělí na dvě skupiny:

1. pro střídavý proud,
2. pro jednosměrný proud.

Napáječ střídavého proudu

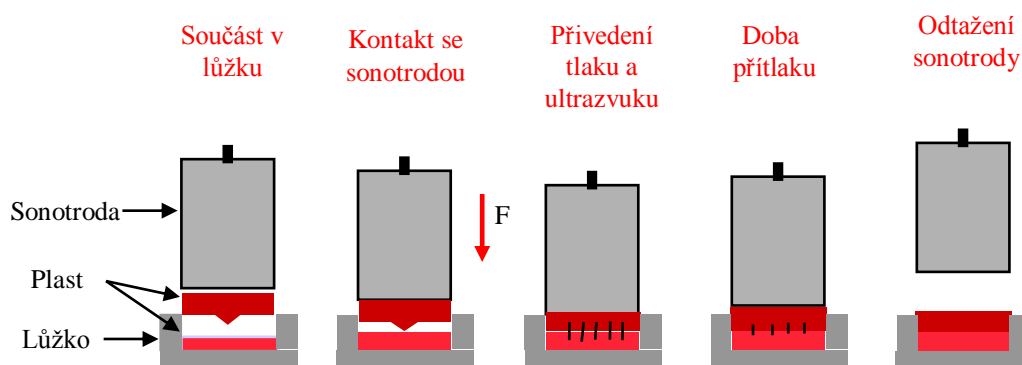
K této skupině patří síťový transformátor a filtr pro odrušení. Síťový transformátor má za úkol transformovat vstupní střídavé napětí 220 V, 50 Hz přes autotransformátorové zapojení na sekundární napětí o 115 V, 50 Hz. Pro optimální přizpůsobení regionálně mírně odlišným poměrům v síti jsou zásadní odpovídající vývody z vinutí (odbočky), které by měly být v hodnotách 215–245 V.

3.6 POPIS MODERNÍHO SYSTÉMU ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVÁNÍ

3.6.1 Zásady

Jak už bylo naznačeno, je možno techniku svařování ultrazvukem zjednodušeně definovat v pěti stupních (obr. 5).

- Výroba vysokofrekvenčních elektrických kmitů pomocí generátoru transformuje elektrickou energii o 50 Hz dodávanou ze sítě na ultrazvukovou frekvenci o 20, 30 a 40 kHz.
- Převod těchto vysokofrekvenčních elektrických kmitů na mechanické a současně „prokovující“ kmity stejné frekvence pomocí piezoelektrického konvertoru.
- Přenos energie kmitání na plastový díl pomocí účinné akustické kombinace nástrojů.
- Zahřátí opracovávané zóny určené k připojení až na bod tání pomocí vnitřní a vnější absorpce mechanických kmitů. Současně uplatněný mechanický tlak umožní vzájemné propojení plastifikovaného materiálu obou dílů. Po vychladnutí vznikne vysoce homogenní spojení.

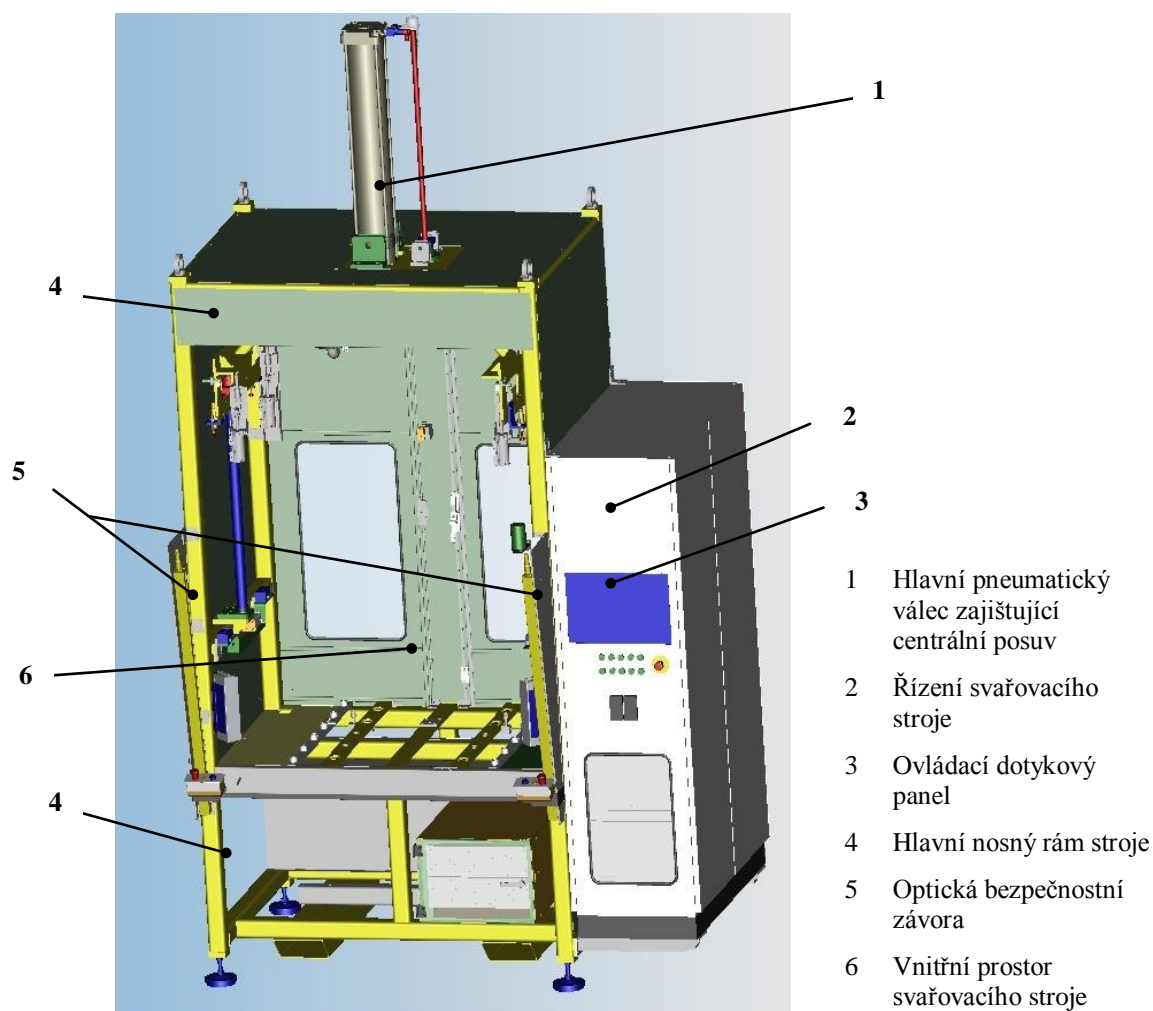


Obr. 5 Pět stupňů ultrazvukového svařování

4 ULTRAZVUKOVÝ SVAŘOVACÍ STROJ

4.1 POPIS A POUŽITÍ ULTRAZVUKOVÉHO SVAŘOVACÍHO STROJE

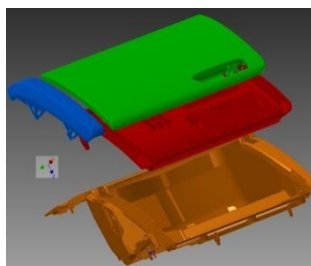
Ultrazvukový svařovací stroj (obr. 6) vyrobený firmou Branson s označením 5.V097.0 A10 je velkosériový jednoúčelový stroj na svaření jednotlivých plastových dílů a tlumícího filcu odkládací schránky spolujezdce v automobilu (obr. 7,8). Jedinou možnou variabilitou tohoto stroje je výměna svařovacího ustrojí v podobě kazety pro pravostranné nebo levostranné řízení vozidla.



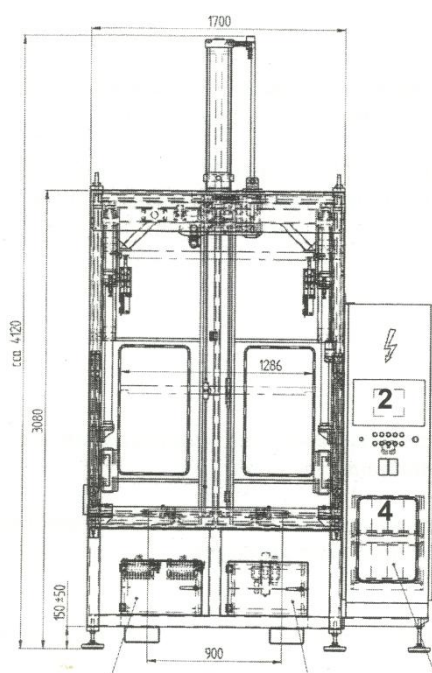
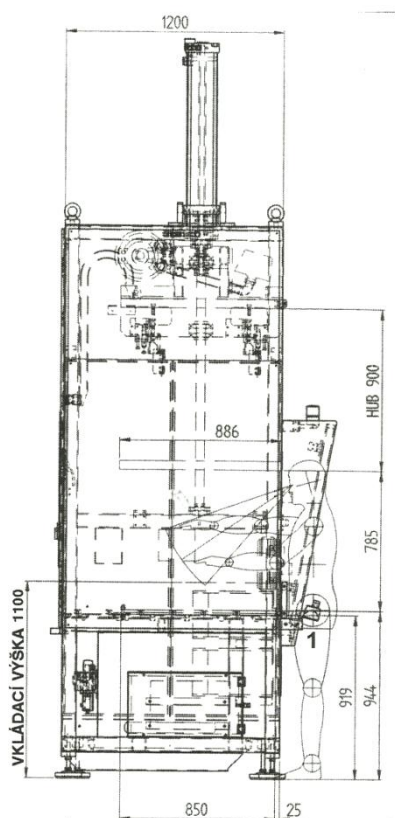
Obr. 6 Ultrazvukový svařovací stroj



Obr. 7 Odkládací schránka
spolujezdce



Obr. 8 Odkládací schránka
spolujezdce – sestava



Obr. 9 Rozměrový náčrtek - pohled zleva / zepředu

Tab. 1 Minimální hodnoty energií pro zásobování stroje

Zásobování	Údaje
napájecí napětí	3 x 400 v AC,
příkon	11 kVA
max. odběr el. proudu	19 A
externě zabezpečené jištění sítě	32 A
tlakovzdušný systém	6 bar - bez oleje

Hlavní součásti stroje

1. Rám stroje

Všechny součásti stroje jsou montovány na rám stroje, který je zhotoven z ocelových profilů a je vybaven výškově přestavitelnými a vibrace tlumícími patkami.

2. Ochranný kryt

Ochranný kryt je konstruován tak, aby obklopoval rám stroje – je sestaven z ocelových plechů. Zabraňuje přístupu ke svařecí stanici během svařování a tlumí hluk při svařování.

Přístup ke stroji je možný zezadu použitím servisních dveří. Stroj je zepředu otevřený – přístup je zajišťován bezpečnostní světelnou clonou.

3. Tlakovzdušný systém

Tlakovzdušný systém je vestaven v rámu stroje a zajišťuje centrální posuv, na kterém jsou připevněny svařecí jednotky, na nichž pak jsou montovány sonotrody. Jednotka údržby je montována na pravé straně za skříňovým rozvaděčem a obsahuje odlučovač vody a oleje.

4.2 POPIS NÁSTROJE – SVAŘOVACÍ KAZETA

Kazeta (nástroj) se skládá ze dvou nejdůležitějších částí.

1. Zakládací lože Branson (obr. 10).
2. Svařovací jednotka Branson (obr. 14).

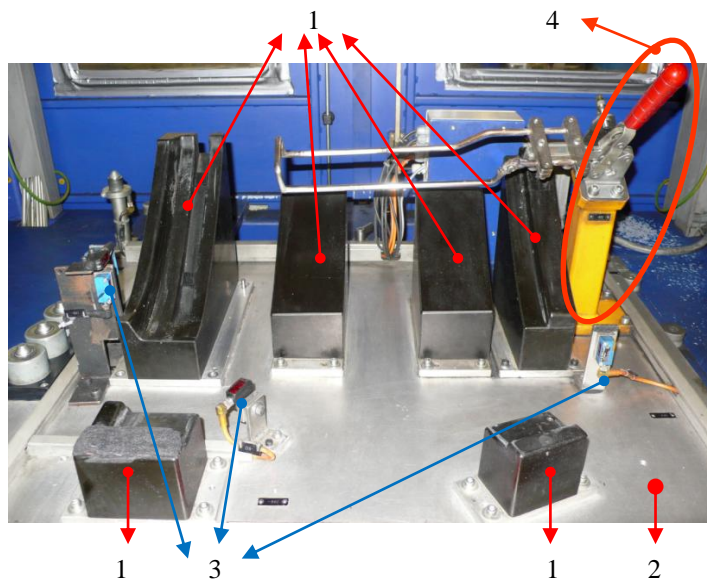
Každé lože je vybaveno optickými čidly (obr. 15) na kontrolu přítomnosti dílu, kompletnosti dílu a na kontrolu upnutí dílu. Bez sepnutí těchto čidel není možno spustit svařovací cyklus.



Obr. 10 Zakládací lože svařovacího stroje

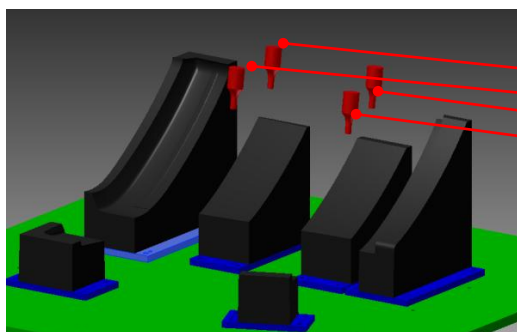
Zakládací svařovací lože Branson

Zakládací lože Branson (obr. 13) slouží k upnutí jednotlivých plastových dílů a zvukoizolačního filcu do správné polohy před tím, než dojde k najetí svařovací jednotky do pracovní polohy. Dosedací části lože jsou vyfrézované z tvrzené pryže a slouží jako měkká opora bočnici (blendě) a víku schránky proti prohnutí při opření svařovacích sonotrod o plastové piny a žebra.



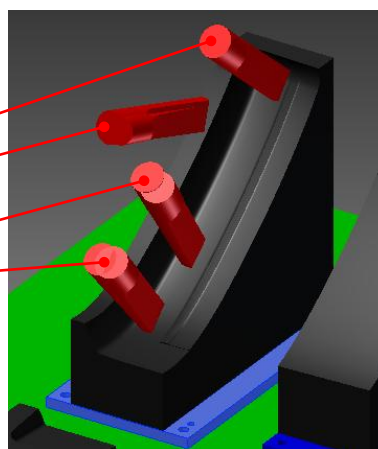
- 1 Dosedací část základacího lože – vyrobeno z tvrzené pryže
- 2 Hlavní nosná deska svařovacího lože
- 3 Optická čidla – kontrola přítomnosti a úplnosti svařovaného dílu
- 4 Pákový mechanismus pro uchycení zvukoizolačního filcu před přivařením ke schránce

Obr. 13 Zakládací svařovací lože Branson



Obr. 12 Pozice sonotrod pro přivaření filcu

Pozice svařovacích sonotrod pro rozvaření plastových pinů a spojení bočnice (blendy) s hlavním tělem odkládací schránky.

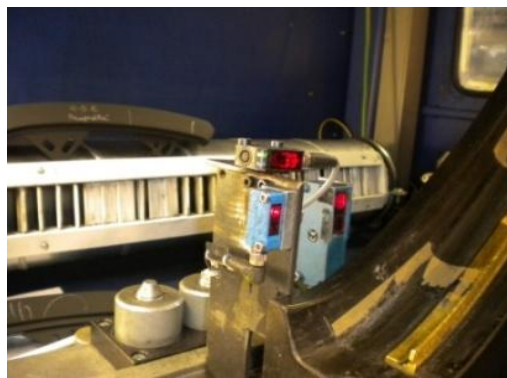


Obr. 11 Pozice sonotrod pro přivaření bočnice

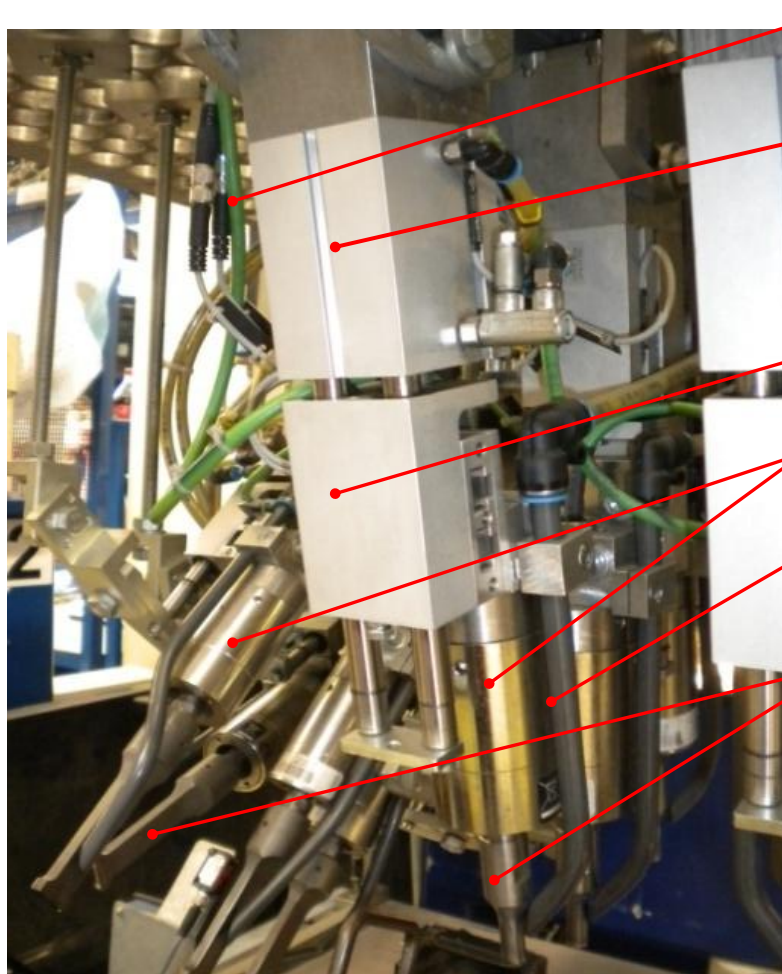
Svařovací jednotka – detail (obr. 16) se skládá z 8 sonotrod, kde 4 sonotrody sváří plastové piny a 4 přivařují zvukoizolační. Každá jednotka se skládá z pracovních válců, koaxiálních kabelů, konvertorů, sonotrod, z chlazení a z lineárních vedení pracovního válce.



Obr. 14 Svařovací jednotka



Obr. 15 Optická čidla



Obr. 16 Svařovací jednotka - detail

- 1 Pracovní válec
- 2 Konvertory
- 3 Chlazení
- 4 Sonotrody
- 5 Koaxiální kabel
- 6 Lineární vedení pracovního válce

4.3 POSTUP SVAŘOVÁNÍ

Postup svařování se děje v následujících krocích.

1. Operátor odebere plastový výlisek – bočnici (blendu) a založí ji vlevo do svařovacího lůžka.
2. Následně je založeno vnější víko, vnitřní víko a tělo schránky se zvukoizolačním filcem je nasunuto na svařovací piny a žebra bočnice (blendy).
3. Operátor musí opustit pracovní prostor svařovacího stroje – kontrola opuštění prostoru probíhá bezpečnostními světelnými závěsy C 4000.
4. Následně operátor zmáčkne tlačítko START, svařovací jednotka sjede do pracovní polohy a přitlačí sonotrody na svařovací body.
5. Průběh svařování je sledován na obrazovce řídicího panelu.
6. Po svaření všech bodů se svařovací jednotka vrátí do základní polohy a svařovací proces je ukončen.



Obr. 18 Zkompletovaná schránka se zvukoizolačním filcem



Obr. 19 Najetá svařovací jednotka do pracovní polohy

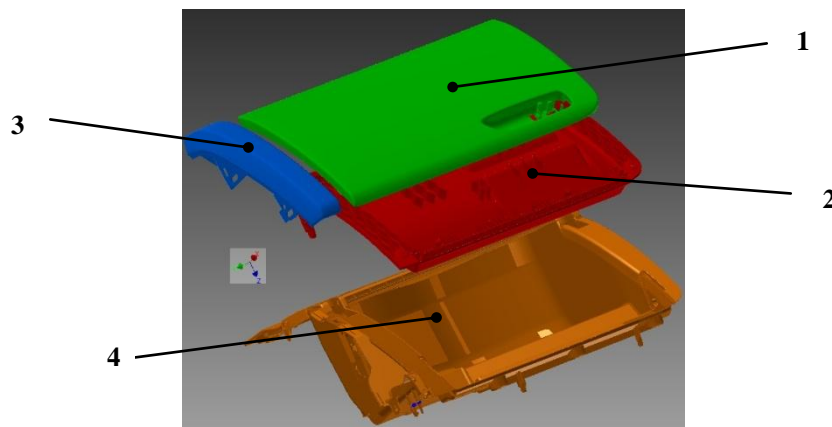


Obr. 17 Obrazovka řídicího panelu s průběhem svařování

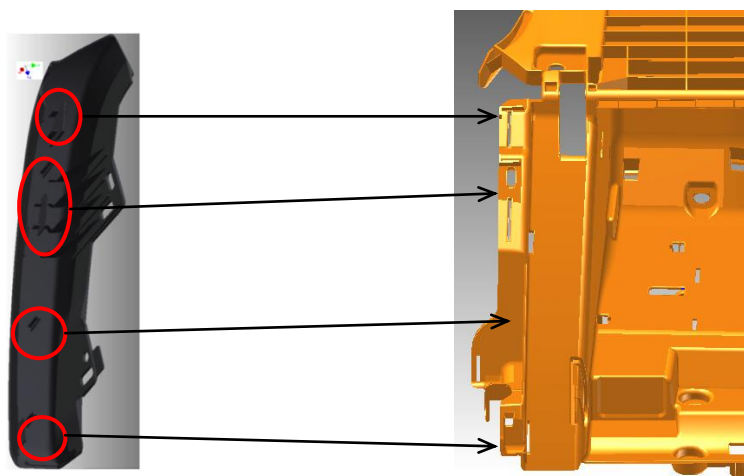
4.4 POPIS VÝROBKU – ODKLÁDACÍ SCHRÁNKA SPOLUJEZDCE V AUTOMOBILU

Jedná se o plastový svařenec, který se skládá ze 4 hlavních plastových dílů (obr. 20) a jedné části filcu (zvuková izolace), které jsou k sobě pevně spojené rozvařením plastových pinů k tomu určených.

- 1 Hlavní vnější víko schránky
- 2 Hlavní výztuha víka s kluznými panty
- 3 Samotné tělo odkládací schránky
- 4 Bočnice (blenda) zajišťuje plošnou návaznost na přístrojovou desku



Obr. 20 Kompletní sestava odkládací schránky spolujezdce



Obr. 21 Pozice žeber a pinů pro rozvaření a spojení blendy a odkládací schránky

Po rozvaření plastových žeber a pinů dojde k vytvoření nerozebíratelného spojení.



Obr. 22 Kompletní svařenec odkládací schránky spolujezdce

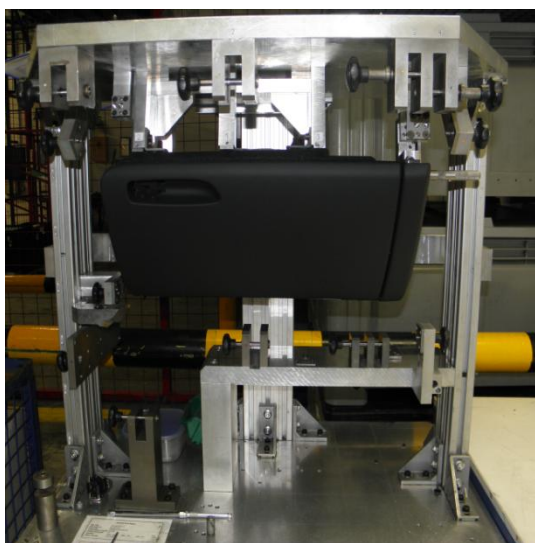
4.5 PROBLEMATIKA ZVOLENÉHO VÝROBKU

Z důvodu opakovaných reklamací od zákazníka byl tento výrobek zvolen jako téma diplomové práce. Nejčastěji se na svařenci objevovala vada v podobě nestejnoměrné spáry a špatné plošné návaznosti mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky. Aby mohla být provedena úprava základacího lože a princip upínání jednotlivých plastových dílů bylo provedeno několik měření a následných analýz.

1. Rozměrová a silová analýza svařence
2. Analýza svařence prostřednictvím termokamery
3. Tvarová analýza základacího lože za pomoci 3D scanneru ATOS Triple scan

4.5.1 Rozměrová a silová analýza svařence

Pro získání potřebného množství naměřených dat, byl ke svařovacímu stroji



Obr. 23 Měřicí přípravek - cubing

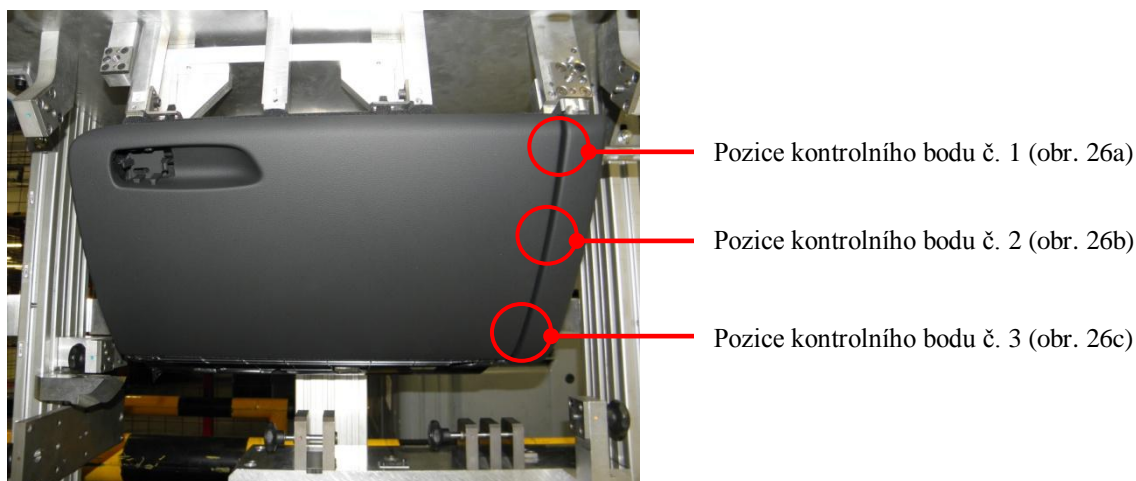


Obr. 24 Kalibr na měření spáry

přistaven měřicí přípravek (cubing) (obr. 23), který přesně simuluje zástavbu výrobku (odkládací schránky) ve vozidle.

Postup pro získání naměřených dat

Operátor výroby vyjmul svařenec odkládací schránky ze svařovacího lůžka a předal díl ke kontrolnímu měření. Tento díl byl dalším operátorem upnut do měřicího přípravku (obr. 23) a následně byla změřena spára na třech místech (obr. 25) mezi víkem odkládací schránky a bočnicí (blendou) pomocí kalibru na měření spáry (obr. 24), a také síla potřebná k uzavření víka odkládací schránky (obr. 27) za pomoci siloměru (obr. 28). Měření bylo provedeno na sérii 3000 ks.



Obr. 25 Pozice kontrolních bodů pro měření spáry pomocí kalibru



Obr. 26a, b, c Měření spáry v kontrolních bodech č. 1, 2, 3

Zákazníkem je stanovená jmenovitá hodnota spáry o velikosti 2,5 mm a horní toleranci + 0,5 mm a dolní toleranci – 0,5 mm.

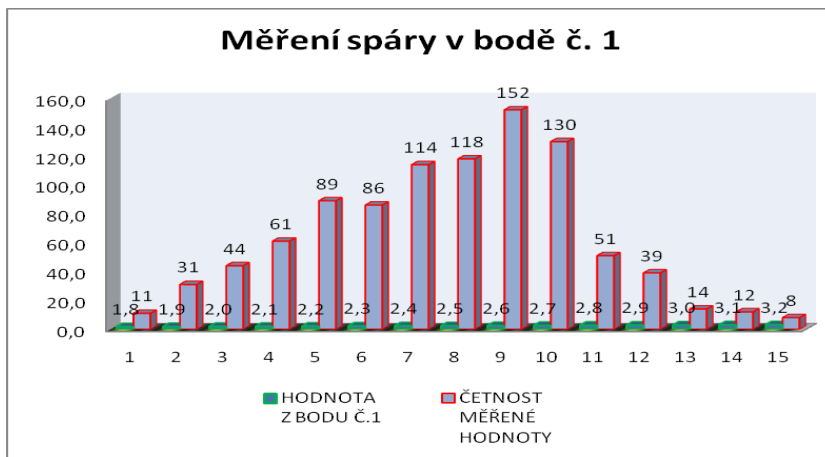
Požadovaná velikost spáry činí $2,5 \pm 0,5$ mm.

Výsledky měření

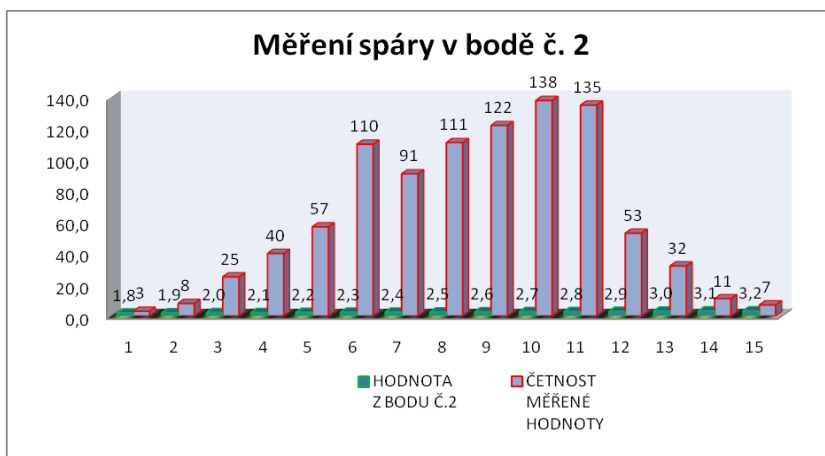
Pro získání dat do grafu číslo 1 byla měřena spára v bodě č. 1 na sérii 1000 ks. Po vyhodnocení jsme došli k závěru, že 62 kusů, tzn. 6,2 %, nevyhovuje rozměru, který zákazník stanovil.

Pro získání dat do grafu číslo 2 byla měřena spára v bodě č. 2 na sérii 1000 ks. Po vyhodnocení jsme došli k závěru, že 29 kusů, tzn. 2,9 %, nevyhovuje rozměru, který zákazník stanovil.

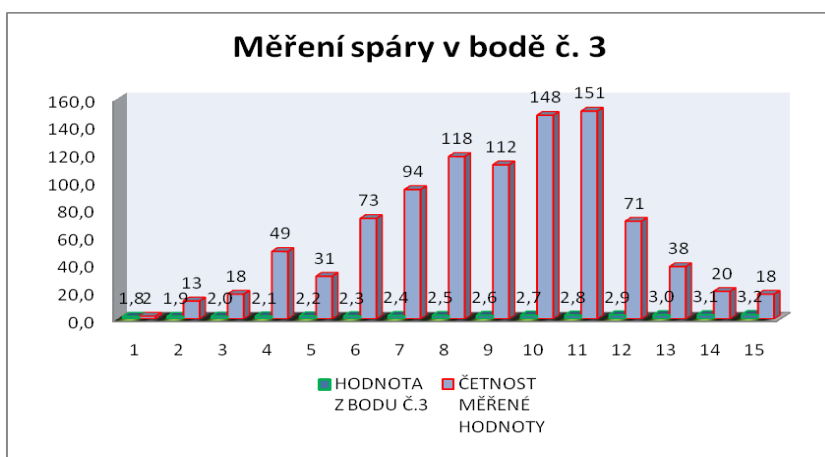
Pro získání dat do grafu číslo 3 byla měřena spára v bodě č. 3 rovněž na sérii 1000 ks. Po vyhodnocení jsme došli k závěru, že 53 kusů, tzn. 5,3 %, nevyhovuje rozměru, který zákazník stanovil.



Graf 1 Měření spáry v bodě č. 1



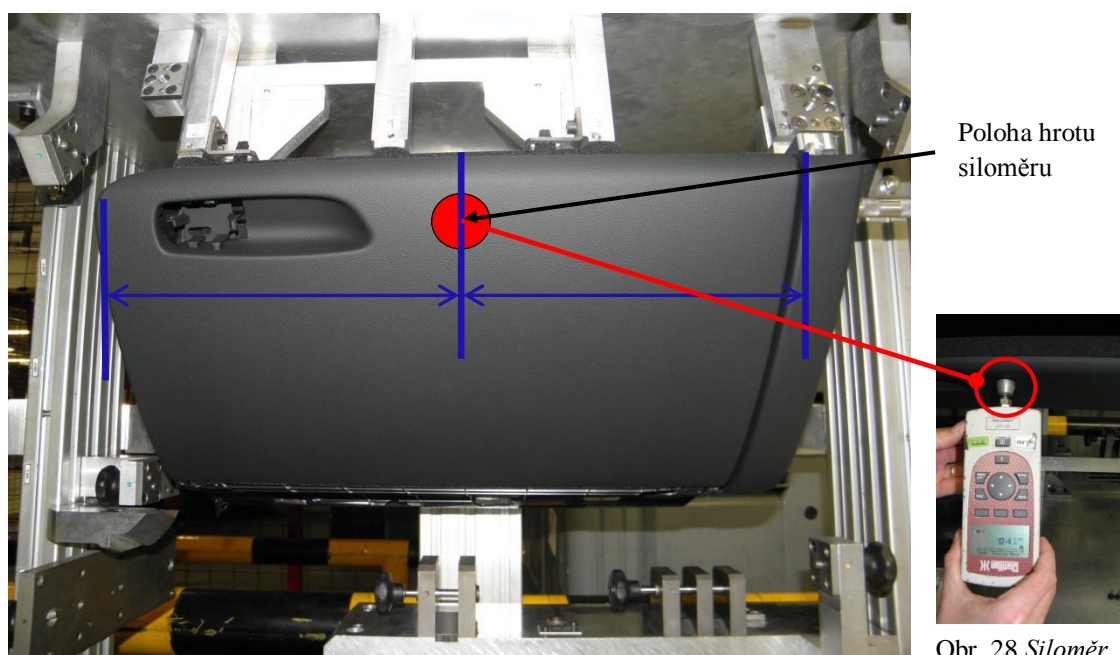
Graf 2 Měření spáry v bodě č. 2



Graf 3 Měření spáry v bodě č. 3

Plánovaná zmetkovitost tohoto projektu byla do 1 %. Z výše uvedených výsledků vyplývá, že došlo k nedodržení plánu. Takto vysoká zmetkovitost byla umocněna tím, že tato část montáže byla finální a vstupovalo do ní 5 hlavních dílů, ze kterých se výrobek skládá. Pokud je spára nevyhovující, dochází ke znehodnocení celé sestavy a svařenec se likviduje.

Silová analýza probíhala na stejném měřicím přípravku jako měření spáry. Při tomto měření se zjišťovala závislost velikosti spáry na velikosti síly potřebné k uzavření odkládací schránky spolujezdce. Měření proběhlo na 15 sériových kusech.



Obr. 27 Pozice bodu pro měření síly potřebné k uzavření schránky

Obr. 28 Siloměr

Zákazníkem je stanovena jmenovitá hodnota uzavírací síly schránky o velikosti 30 N a horní toleranci +10 N a dolní toleranci -10 N. Požadovaná uzavírací síla činí $F [N] = 30 \pm 10$.

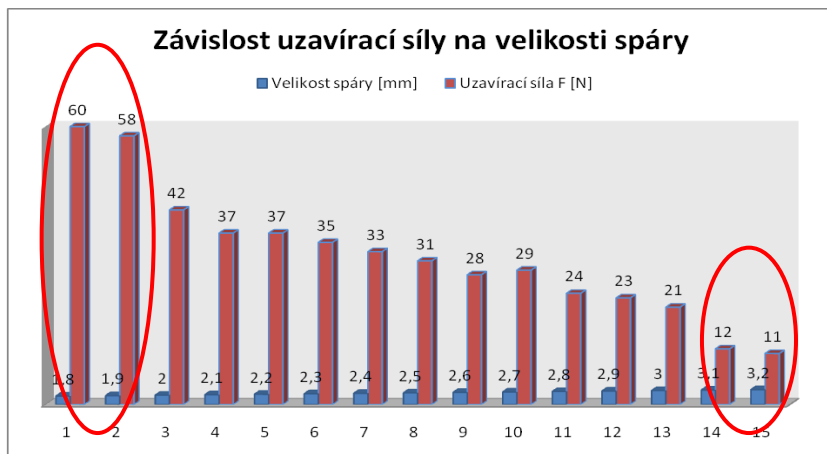
Zavírací síla byla měřena uprostřed víka v poloze středu klíčky uzávěru schránky. Hrot siloměru byl umístěn na střed víka (obr. 27) do úrovně středu klíčky. Měření bylo ukončeno po zatlačení víka do fáze zajištění střelek ve víku schránky.

Pro měření byl použit siloměr od firmy Metek, který je schopen měřit sílu v rozmezí 1–120 N. Měření probíhalo při okolní teplotě 22 °C.

Výsledky měření

Závislosti uzavírací síly na velikosti spáry (graf 4).

Z naměřených hodnot jsme zjistili přímou souvislost mezi velkou a malou spárou víka a bočnice. Tam, kde nám spára mezi víkem a bočnicí překročila toleranci danou zákazníkem, byla překročena i hodnota síly potřebné k uzavření víka odkládací schránky.



Graf 4 Závislost uzavírací síly na velikosti spáry

4.5.2 Analýza svařence prostřednictvím termokamery

Tato kapitola se zabývá analýzou tepelného namáhání a průběhem chladnutí celého svařence. Pro analýzu výchozího stavu na stroji Branson byla použita termokamera ThermoCAM P65 od výrobce FLIR (obr. 29a, b).



1

2



b).

3

4

5

- 1 Čočka termokamery
- 2 Ukazatel stavu paměti a baterie
- 3 Sklopný displej
- 4 Ovládací joystick zaostření
- 5 Tlačítko spouště

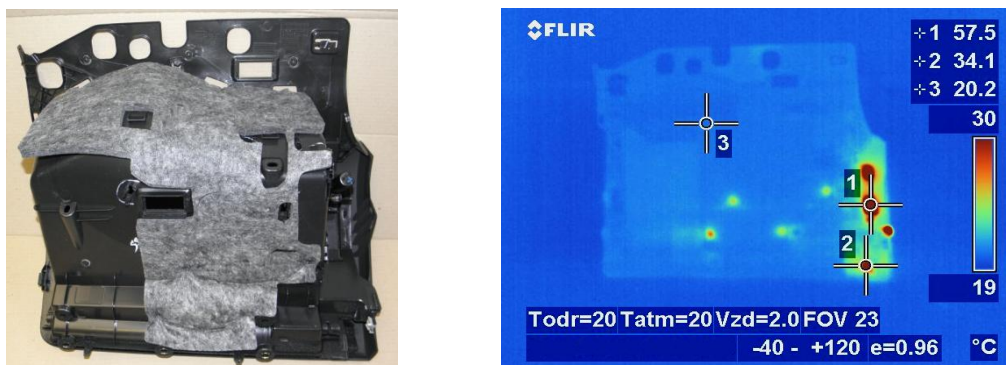
Obr. 29a, b Termokamera - ThermoCAM P65

Datum měření termokamerou: 5. 12. 2012

Teplota okolního vzduchu: 19 °C

Nastavený rozsah teplot kamery: - 40 – + 120 °C

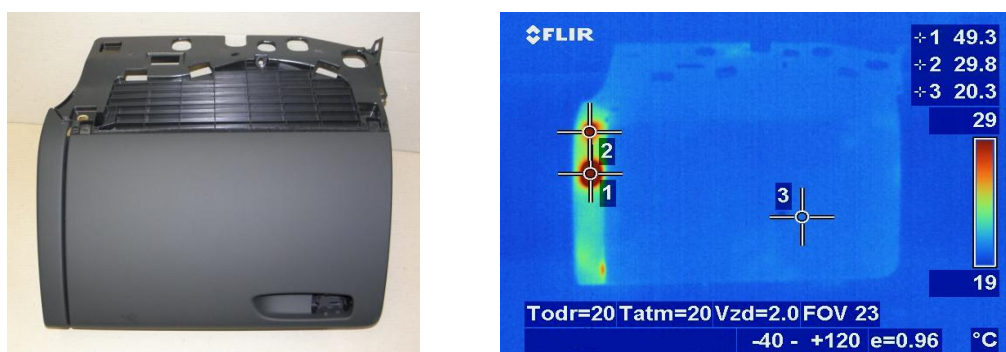
Snímky byly pořízeny ze vzdálenosti 2 m.



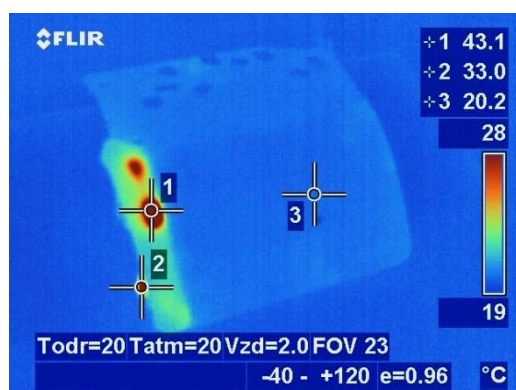
Obr. 30 Pohled na díl ze spodní strany (tam, kde probíhá rozvaření vlastních pinů)



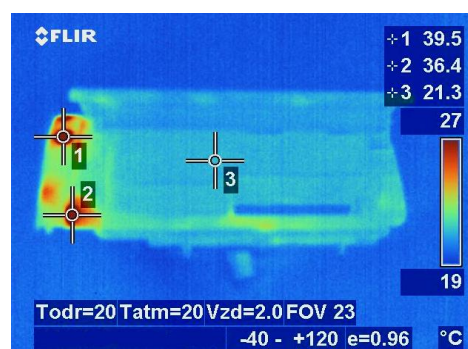
Obr. 31 Pohled na díl ze spodní strany 15 sekund po svaření



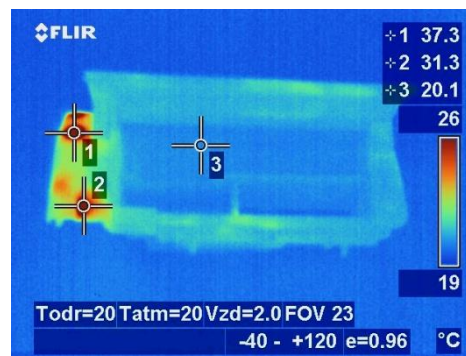
Obr. 32 Pohled na díl z horní pohledové strany



Obr. 33 Pohled na díl z horní pohledové strany po 15 sekundách



Obr. 34 Pohled do otevřené schránky ihned po svaření

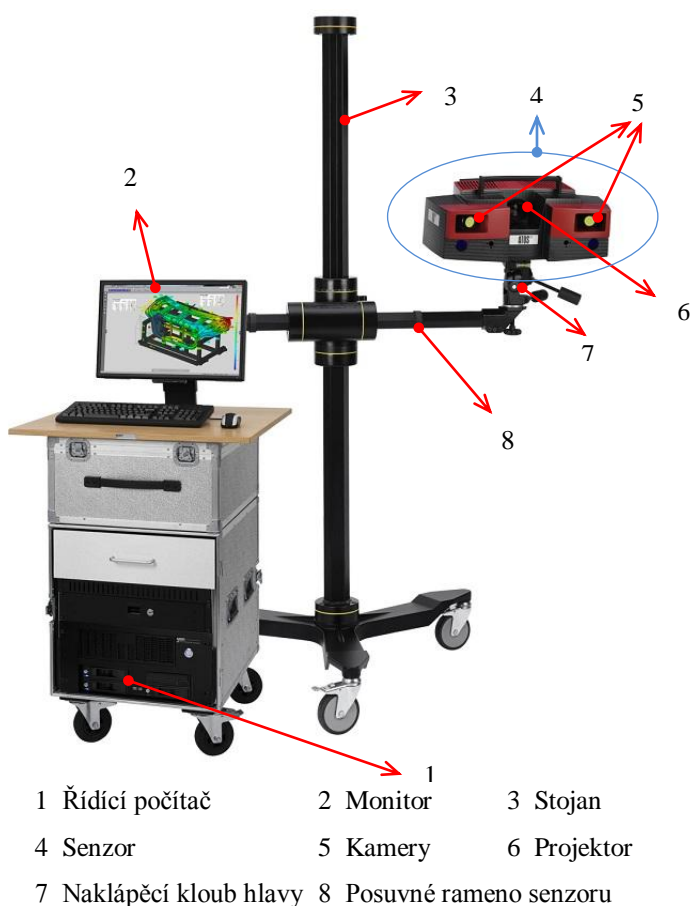


Obr. 35 Pohled do otevřené schránky 15 sekund po svaření

Díky tomuto měření bylo zjištěno, že díl má i po vyjmutí ze svařovacího lože stále vysokou teplotu v místech svarů. Vysoká teplota způsobuje následnou deformaci dílu. Řešením by bylo prodloužení doby chlazení založeného dílu na úkor celkového času cyklu svařování. Tím by však došlo k prodloužení celkového cyklu, což by bylo z hlediska výroby nepřijatelné. Docházelo by k prodražení výroby.

4.5.3 Tvarová analýza základacího lože za pomoci 3D scanneru ATOS Triple scan

ATOS je mobilní bezdotykový optický 3D skener firmy GOM určený pro nejrůznější aplikace. Jeho výhodou je vysoká výkonnost, velké rozlišení a široká flexibilita, jež umožňují přesnou a efektivní kontrolu kvality výroby, ukládání optimalizovaných dat z design aplikací, skenování poškozených tvarových vložek a celých sestav lisovacích nástrojů a vstřikovacích forem. Nejširší využití systému ATOS je v oblastech CAD, CAM a FEM, kde je vyžadováno měření reálných objektů a jejich následné srovnání s teoretickým modelem. Všechny systémy ATOS mohou být doplněny o počítačem řízený rotační stůl, což je vhodné pro opakovaná měření stejných dílů. Výhodou optického skeneru je proměření skenovaného objektu po celé jeho viditelné ploše a nikoliv pouze v jednotlivých bodech, jako je tomu u běžných dotykových 3D měřících systémů. Výstupem je polygonální síť ve formátu STL.



Výsledky z digitalizace lze pak exportovat do systémů Reverse Engineering, které jsou schopny rychle rekonstruovat 3D CAD model. Při tvorbě protokolů lze pak zobrazovat barevné mapy, kde je na první pohled vidět míra deformace a její směr. Výhodou je také možnost použití různých typů ustavení jako je RPS (při měření na kontrolním přípravku nebo cubingu), celkový nebo lokální best fit či další specifická ustavení. Jednotlivá ustavení lze vzájemně porovnávat bez nutnosti měření opakovat.

Obr. 36 ATOS Triple scan

Velkou předností je také možnost měření mimo měrové středisko, jelikož je měřicí systém mobilní.

Jistou nevýhodou je nutnost úpravy lesklých, černých a průhledných povrchů. Tyto povrchy se musí nastříkat křídovým antireflexním sprejem, který je však vodou omyvatelný a neleptá povrch měřených objektů. Dále se objekt musí polepit referenčními body, které slouží ke správné transformaci každého následujícího snímku na snímky předchozí.

Celý pracovní proces se systémem ATOS lze rozdělit na 2 části – hardwarovou a softwarovou. V hardwarové části je objekt připravován na měření a za pomoci skenovací hlavy a pracovní PC stanice je prováděno vlastní skenování. V druhé – softwarové části je vygenerován soubor polygonální sítě STL, který je následně „očištěn“ od ostatních naskenovaných elementů (např. spolu s dílem je naskenována i část přípravku). Následně je v programu GOM Inspect Professional provedeno ustavení, vyhodnocení měřících bodů a vlastní tvorba protokolu.

Tab. 2 Pracovní postup se systémem ATOS

Pracovní postup se systémem ATOS	
Hardwarová část:	
1) Nástřik skenovaného dílu antireflexním křídovým sprejem.	
2) Upnutí dílu na přípravek/cubing.	
3) Dostřik ploch setřených při upínání.	
4) Polepení dílu a přípravku referenčními body.	
5) Vlastní skenování dílu.	
6) Naměření RPS referenčních bodů.	
Softwarová část:	
1) Vygenerování polygonální sítě.	
2) Import CAD dat.	
3) Ustavení RPS/Best Fit.	
4) Barevná mapa + odchylky.	
5) Tvorba protokolu	
+ další specifické požadavky.	

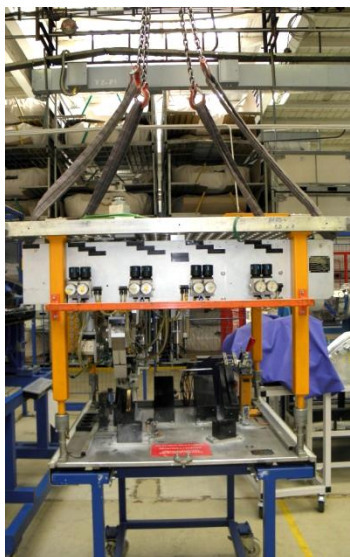
Vzhledem k tomu, že ve většině případů je nutno povrchy stříkat a v každém případě objekt polepit referenčními body, je měření se skenerem časově náročnější oproti měření na dotykovém 3D měřicím stroji. Skener ATOS je tedy vhodnější použít pro měření dílů ve fázi projektu, než pro sériová měření.

K využití této technologie jsem se rozhodl z důvodu kontroly tvaru základacího lože svařovacího stroje. Mělo tím být docíleno vyloučení špatného tvaru lože jako příčiny nestejněměrné spáry mezi víkem a bočnicí. Dalším důvodem pro zvolení této metody bylo neposkytnutí potřebných 3D dat výrobcem základacího lože.

Postup celého procesu skenování



Obr. 37 Vyjmutí kazety ze svařovacího stroje



Obr. 38 Zavěšení svařovací jednotky na jeřáb a vyjmutí základacího lože

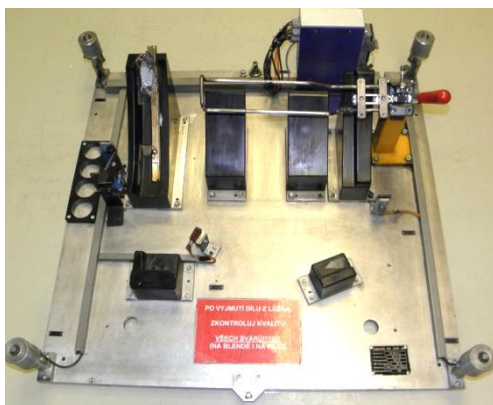


Obr. 39 Samostatná svařovací jednotka

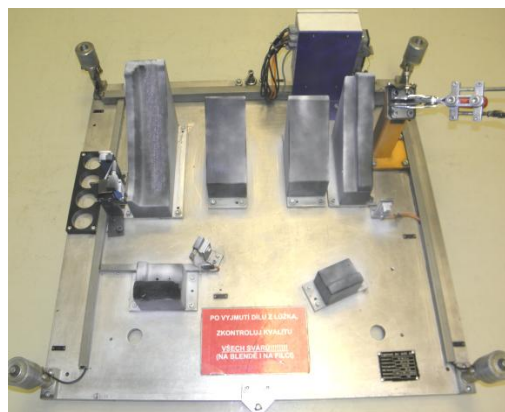
Aby mohl být proces skenování realizován, bylo nutné zařídit uvolnění svařovací kazety z procesu výroby a dohodnout náhradní výrobu na tomto svařovacím stroji tak, aby nedošlo k ohrožení dodávek výrobků k zákazníkovi.

Nejprve bylo nutné vyjmout svařovací kazetu ze svařovacího stroje (obr. 37) a dále nadzvednout svařovací jednotku a vyjmout svařovací lože z kazety (obr. 38). Svařovací jednotka byla zajištěna proti poškození a rozladění sonotrod (obr. 39).

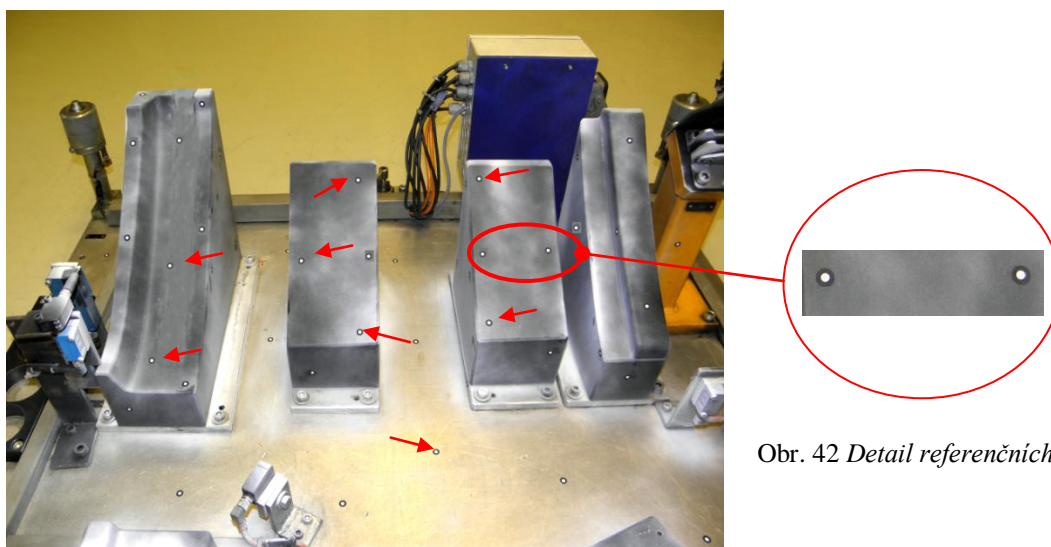
Vyjmuté svařovací lože bylo nutné nejprve dokonale očistit od mastnot a od částech plastu a prachu (obr. 40). Dále byla nanесena křídová antireflexní vrstva, protože na loži se vyskytují lesklé a černé oblasti (obr. 41). Takto upravené lože bylo polepeno referenčními body (obr. 43).



Obr. 40 Čištění svařovacího lůžka



Obr. 41 Nanесení křídové antireflexní vrstvy



Obr. 42 Detail referenčních bodů

Obr. 43 Lože polepené referenčními body

Použitím referenčních bodů systém automaticky zjistí aktuální polohu senzoru a transformuje jednotlivé záběry do společného souřadného systému měřeného objektu a přenáší každý následující snímek na snímek předchozí. Velikost referenčních bodů jsme zvolili z tabulky parametrů podle měřicího objemu. Referenční body byly umístěny pouze na rovné nebo velice málo zakřivené plochy.

Kalibrace zařízení

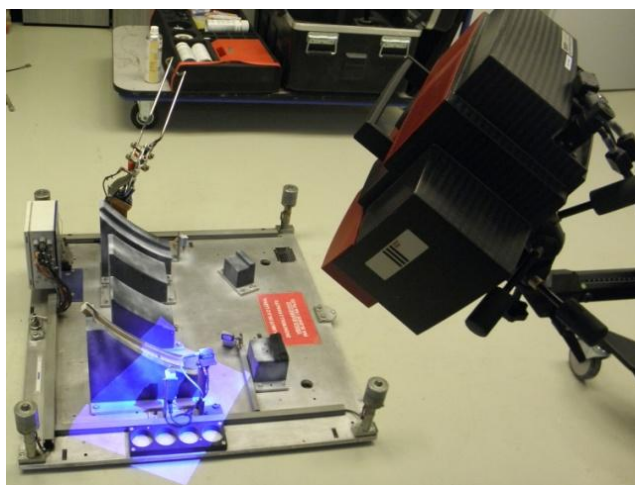
Před započítím měření bylo nutno zařízení kalibrovat. Důvodem byl transport měřicího zařízení a výměna měřicího objemu. Než došlo k vlastní kalibraci pomocí panelu (obr. 44), byla hlava senzoru ponechána k zahřátí 10–15 minut.



Obr. 44 Kalibrace pomocí panelu

Měření se systémem ATOS

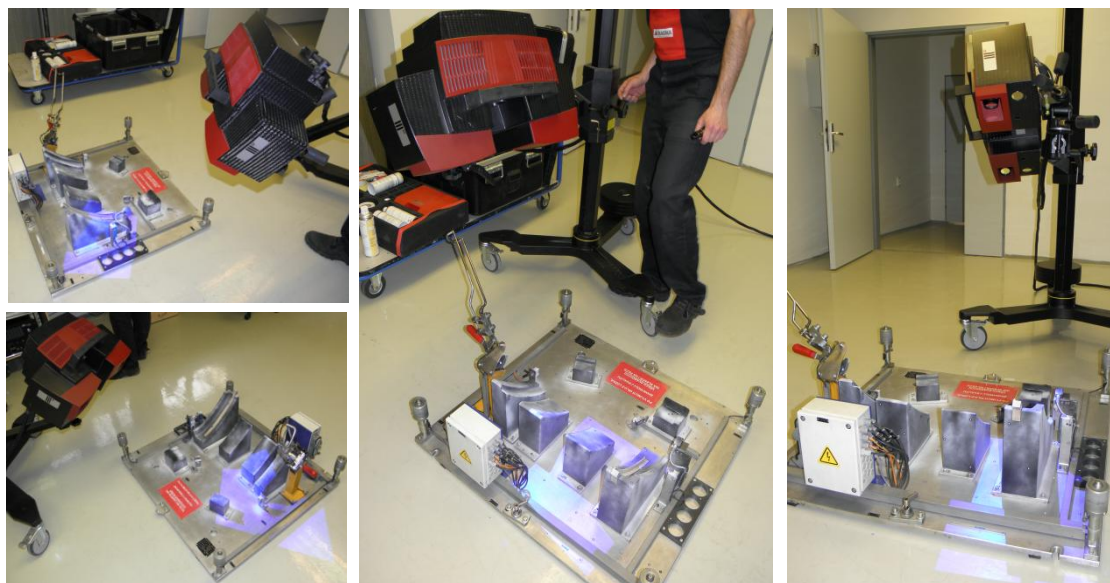
Senzor byl jednoduše namířen na volně umístěné svařovací lože. Pro měření je na objekt ze senzoru promítnut vzor proužků (obr. 45), který je zaznamenáván dvěma kamerami. Během několika sekund software s vysokou přesností vypočítá souřadnice 800 000 bodů pro jednotlivé měření. Pro celkové zachycení složitějších objektů je několik jednotlivých záběrů spojeno dohromady (obr. 47).



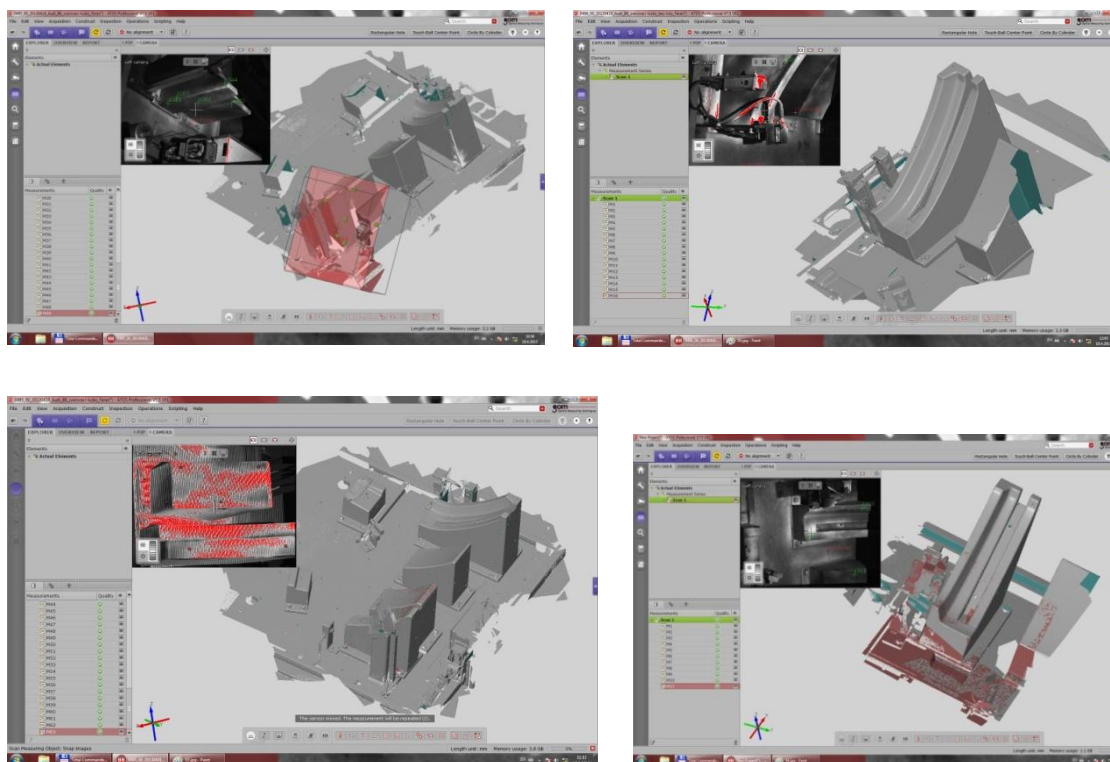
Obr. 45 Promítnutí vzoru proužků ze senzoru

Použitím referenčních bodů je systémem automaticky zjištěna aktuální poloha senzoru a transformovány jednotlivé záběry do společného souřadného systému měřeného objektu. Uživatel může neustále sledovat digitalizační proces na obrazovce (obr. 46).

V průběhu každého měření je automaticky kontrolována kalibrace systému, pohyb senzoru nebo objektu a vliv vnějšího osvětlení, aby byla zajištěna přesnost a rychlost měření i v případě horších provozních podmínek.

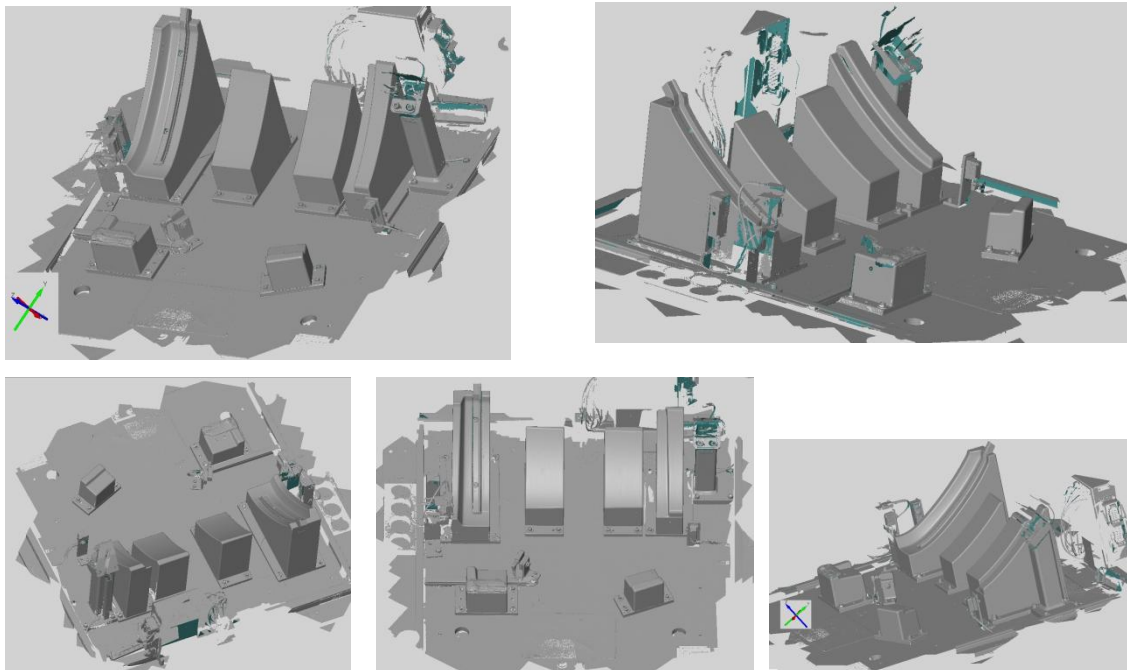


Obr. 47 Spojení několika záběrů dohromady při skenování tvarově složitého dílu - lože



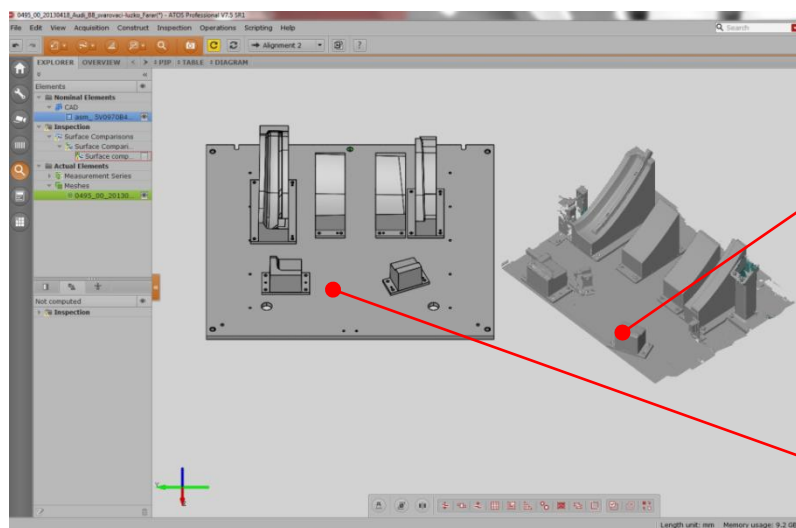
Obr. 46 Průběh skenování lože na obrazovce monitoru

Softwarová část skenování – vygenerování souboru polygonální sítě STL (obr. 48).



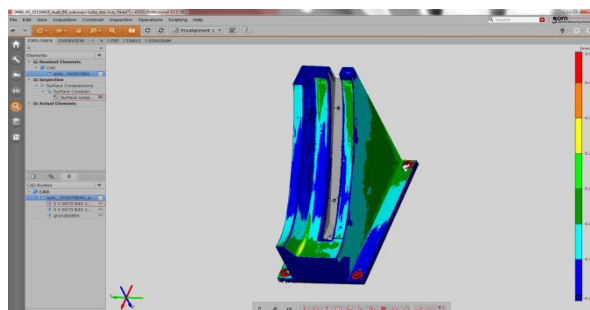
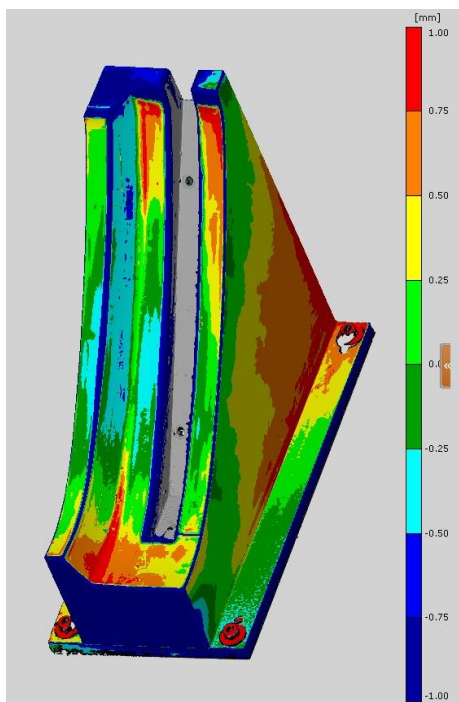
Obr. 48 Vygenerovaný soubor polygonální sítě STL

Abychom vyloučili všechny možné příčiny nepravidelné spáry bočnice (blends) a víka odkládací schránky, byla naskenovaná data porovnána s daty, které byly výrobcí lůžka zadány, zda nedošlo k odchýlení od požadovaného tvaru. Tato vyhodnocení měřících bodů byla provedena v GOM Inspect Professional (obr. 49).

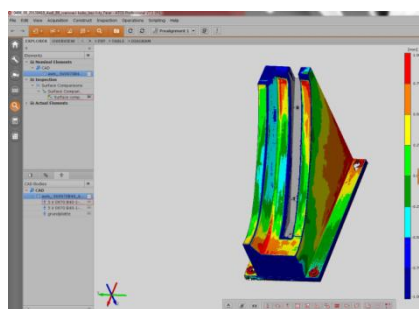


Obr. 49 Porovnání a vyhodnocení získané polygonální sítě s původním 3D modelem

Nejvíce jsme se při porovnání původních 3D dat a získané polygonální sítě STL zaměřili na levou část lože tam, kde dochází k rozvaření žeber a pinů bočnice (blends) (obr. 50a,b).



Obr. 51 Odchylka tvaru do minusových hodnot



Obr. 50a,b Levá část lože - porovnání s původními 3D daty

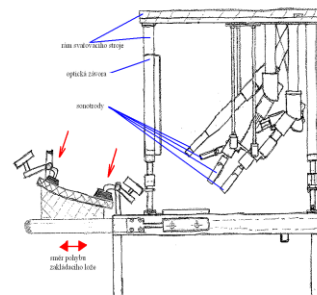
Z obrázku je patrné, že v místech, kde dochází k rozvaření plastových žeber a pinů a tam, kde nejvíce dosedá svařenec do lože, je rozdíl od původního tvaru 2 mm. Největší rozdíl od původních dat zasahoval do minusových hodnot (obr. 51) tzn., že při dotlačení dílu do lože docházelo k jeho prohnutí a deformaci.

Tento rozdíl je nepřijatelný, proto bude na základě tohoto zjištění vyrobena nová levá část dosedacího lože.

5 PĚT NÁVRHŮ INOVACÍ SVAŘOVACÍHO A ZAKLÁDACÍHO LOŽE

Varianta č. 1

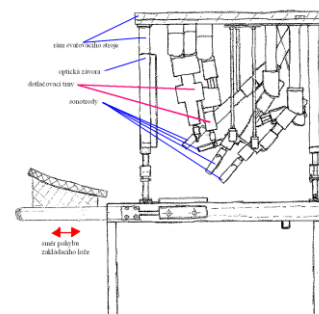
Vyjížděcí lože se založením kusu mimo svařovací prostor. Dotlačení proběhne také mimo svařovací prostor pomocným pákovým mechanismem z obou stran svařovacího stroje.



Obr. 52 Varianta č. 1

Varianta č. 2

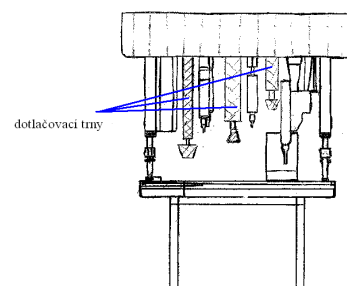
Vyjížděcí lože se založením kusu mimo svařovací prostor. Následné zajetí výrobku pod svařovací trny. Dotlačení výrobku shora, dotlačovací trny sjedou dříve než svařovací trny.



Obr. 53 Varianta č. 2

Varianta č. 3

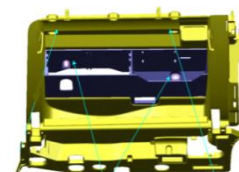
Dotlačení kusu shora. Poloha dotlačovacích trnů je v prostoru mezi svařovacími trny. Kus je založen obsluhou do vnitřního prostoru svařovacího zařízení.



Obr. 54 Varianta č. 3

Varianta č. 4

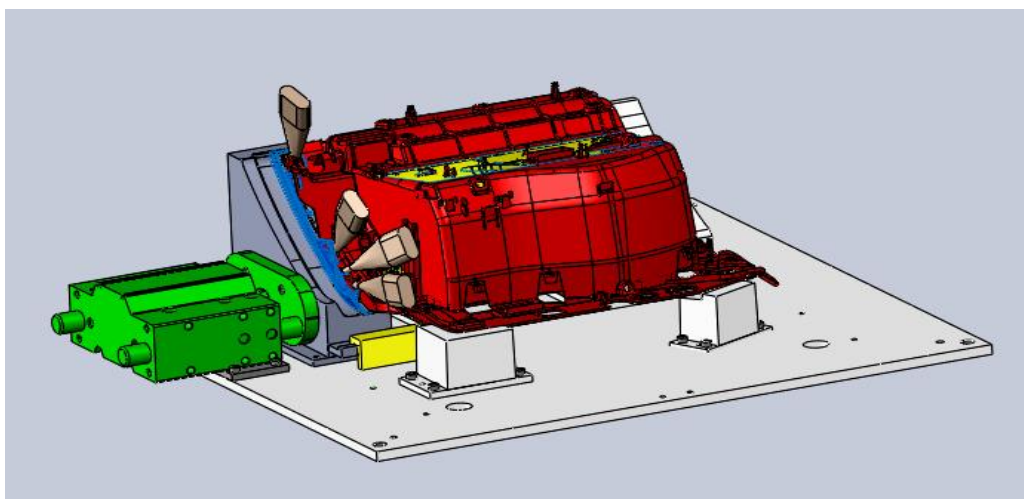
Navrhnutí nasazovacích (vymezovacích) trnů, změna tvaru formy.



Obr. 55 Varianta č. 4

Varianta č. 5

Dotlačení dílu bude probíhat v levé části dosedacího lože pomocí serva. Dva otvory v pravé části svařovacího lože, ve kterých budou usazena tlaková čidla, nám odpojí přítlak. V momentě dotlačení dílu do koncové polohy, čidlo odpojí servo a dotlak přestane působit. Dále bude vyrobena vymežovací rozpěrka z mosazi mezi blendu a víko, která bude vložena do levé části svařovacího lože.



Obr. 56 Varianta č. 5 – nejvhodnější návrh

5.1 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍ VARIANTY

Rozhodovací analýza je heuristická metoda vhodná k řešení složitých rozhodovacích problémů v řízení. Podstata rozhodovací analýzy spočívá v tom, že používá soustavy standardních heuristických programů a postupů ke kvalifikovanému vyjádření preference variant. Měří a srovnává užitnost a umožňuje určit výsledný efekt variant.

Při výběru nejvhodnější varianty systému upínání plastových výlisků ve svařovacím loži bude použita metoda rozhodovací matice. Tato metoda hodnotí každý koncept na základě předem stanovených kritérií, která se mohou lišit podle toho, jak důležitá jsou jednotlivá kritéria pro danou firmu, pro kterou je tento výrobek vyvíjen.

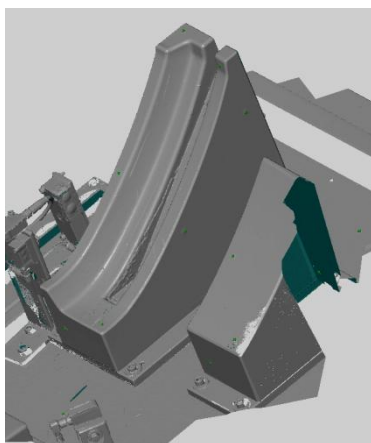
Varianta č. 5 byla vyhodnocena, jako nejvýhodnější dle (tab. 3). Ve všech hodnotících kritériích obstála nejlépe a bude rozvíjena dále v projektu.

Tab. 3 Rozhodovací tabulka pro detailní hodnocení konceptu

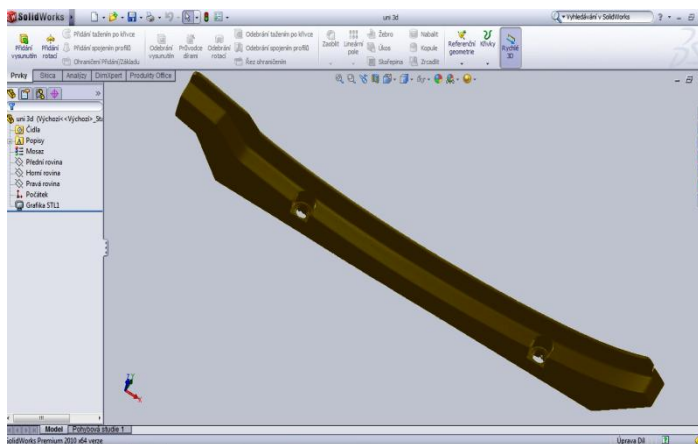
kritérium	váha	Návrhy možností upínání plastového výlisku										V max zakládání
		č.1		č.2		č.3		č.4		č.5		
		PU	VU	PU	VU	PU	VU	PU	VU	PU	VU	
nízké výrobní náklady	5%	1	0,05	1	0,05	2	0,1	1	0,05	2	0,1	0,25
přesnost svarového spoje	20%	4	0,8	5	1	4	0,8	3	0,6	5	1	1
snadná montáž zakládacího lůžka	5%	1	0,05	1	0,05	2	0,1	5	0,25	3	0,15	0,25
životnost	15%	2	0,3	4	0,6	4	0,6	2	0,3	4	0,6	0,75
bezúdržbový provoz	10%	2	0,2	3	0,3	3	0,3	2	0,2	4	0,4	0,5
pravděpodobnost poruchy	10%	3	0,3	2	0,2	3	0,3	2	0,2	4	0,4	0,5
složitost	5%	3	0,15	1	0,05	3	0,15	1	0,05	3	0,15	0,25
automatizovanost	15%	2	0,3	5	0,75	1	0,15	2	0,3	5	0,75	0,75
energeticky nenáročný provoz	5%	4	0,2	3	0,15	4	0,2	3	0,15	3	0,15	0,25
zachování času výrobního cyklu	10%	2	0,2	4	0,4	1	0,1	5	0,5	5	0,5	0,5
součet		2,55		3,55		2,8		2,6		4,2		5
relativní užitnost		51%		71%		56%		52%		84%		100%
pořadí		5		2		3		4		1		
další postup		NE		NE		NE		NE		odzkoušet prototyp		

(PU - Prostá hodnota, VU - Vážená hodnota, Vmax - Ideální varianta)

Na základě zjištěných odchylek tvaru za pomoci 3D skeneru ATOS, bylo požádáno o výrobu nového dílu základacího lože (obr. 57) a rozpěrné mosazné lišty mezi blendu a víko odkládací schránky (obr. 58).

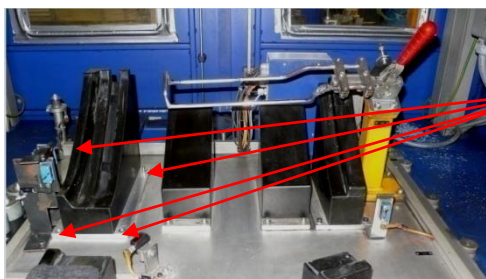


Obr. 57 3D model pro výrobu nového dílu základací lože



Obr. 58 3D model pro výrobu mosazné lišty

Zkušební montáž nových dílů (obr. 59) základacího lože proběhla o víkendové odstávce výroby.

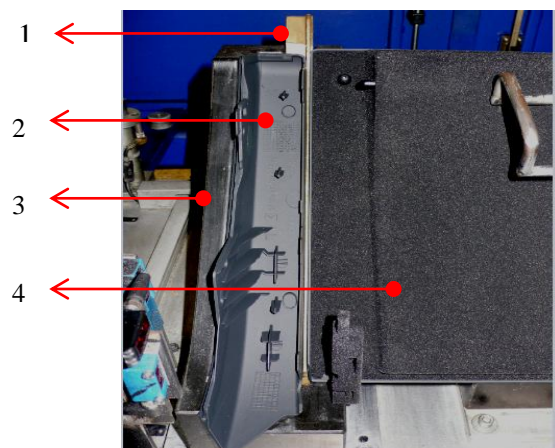


V těchto místech došlo k uvolnění jedné části základacího lože z hlavní nosné desky a proběhla montáž nové části základacího lože.

Obr. 59 Montáž nových dílů základacího lože - část lože



Obr. 60 Mosazná rozpěrná lišta mezi bočnici a víko odkládací schránky

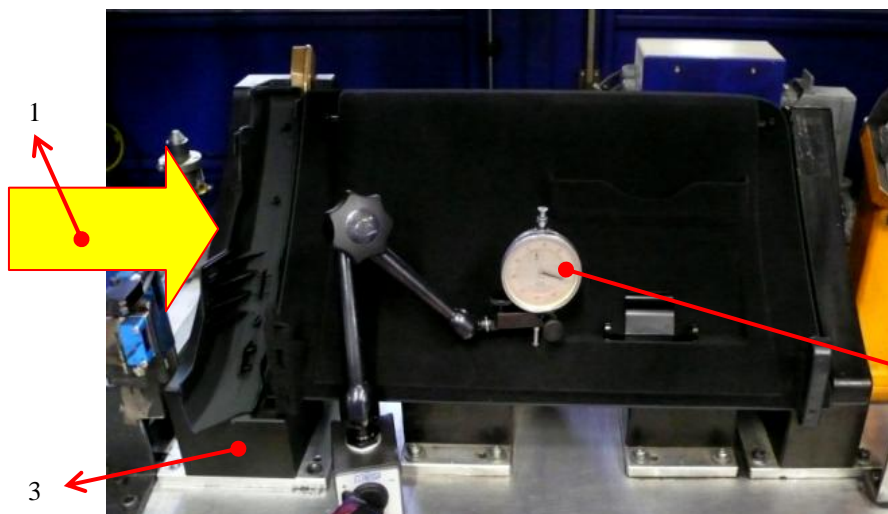


- 1 Mosazná lišta pro zajištění stejné spáry mezi bočnicí a víkem
- 2 Bočnice (blenda)
- 3 Zakládací lože
- 4 Víko odkládací schránky

Obr. 61 Založení bočnice (blendy) a víka odkládací schránky do svařovacího lože s namontovanou mosaznou lištou

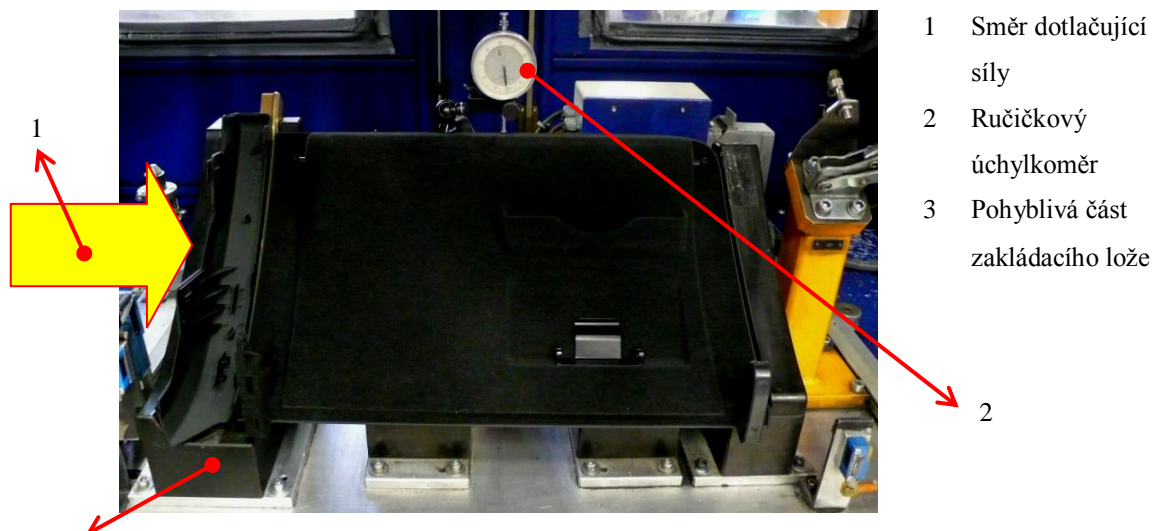
Měření prohnutí (deformace) dílu při dotlačení z levé strany (obr. 62,63).

Abychom minimalizovali nestabilní spáru mezi víkem a bočnicí (blendou) odkládací schránky způsobenou rozměrovou variabilitou plastových výlisků, budou díly po založení do lože dotlačeny k sobě pomocí pohyblivé levé části základacího lože. Velikost dotlačující síly jsme vyvinuli pomocí tlakového siloměru. Velikost síly, kterou jsme zatěžovali díl z levé strany (tab. 4).



- 1 Směr dotlačující síly
- 2 Ručičkový úchylkoměr
- 3 Pohyblivá část základacího lože

Obr. 62 Měření deformace dílu v dolní části víka při dotlačení z levé strany



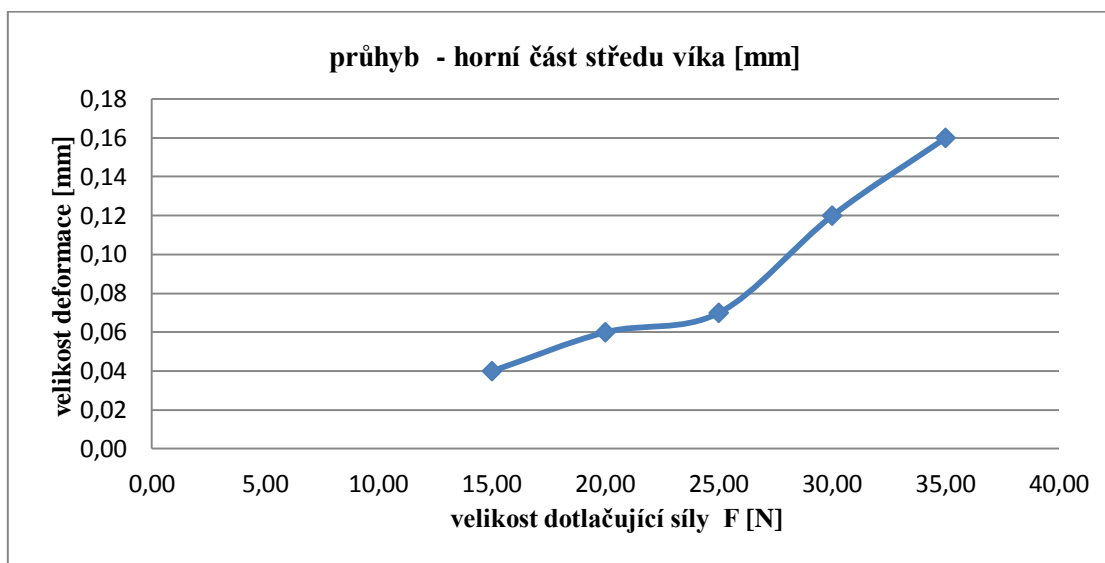
Obr. 63 Měření deformace dílu v horní části víka při dotlačení z levé strany

Výsledky měření

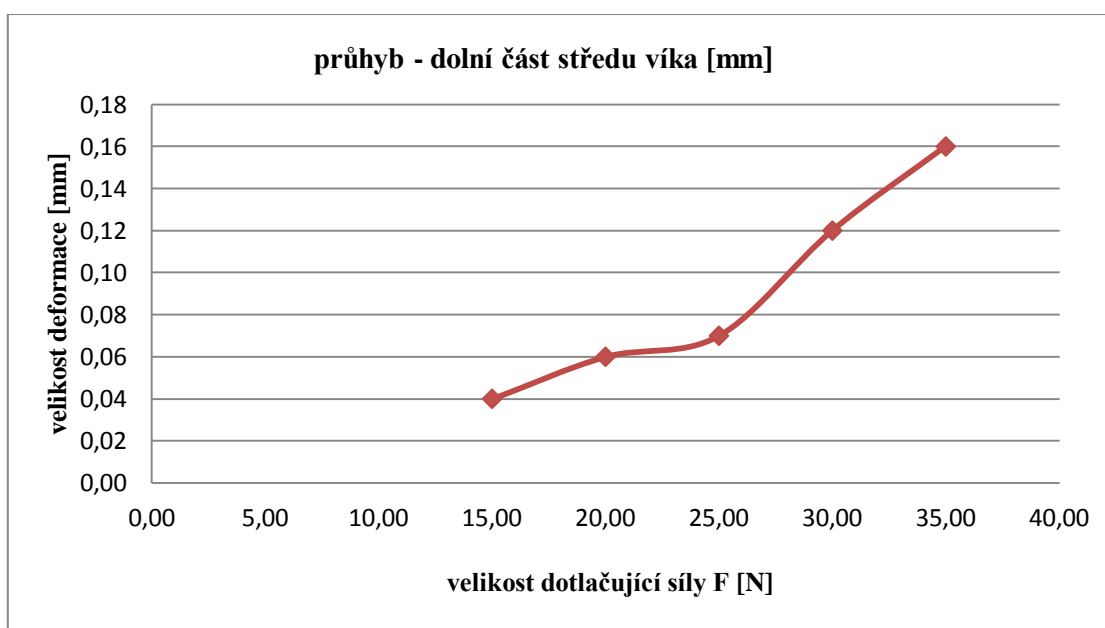
Z naměřených hodnot (tab. 4) jsme zjistili, že horní část víka více podléhá silovému působení a deformace je vyšší než v dolní části víka. Tato větší deformace je způsobena menším počtem výstužných žebër ve vnějším víku odkládací schránky. Závislost působící síly a deformace víka (graf 5,6).

Tab. 4 Velikost dotlačující síly a průhyb v horní a dolní části středu víka

dotlačující síla F [N]	průhyb víka - horní část, střed [mm]	průhyb víka - dolní část, střed [mm]
15,00	0,04	0,00
20,00	0,06	0,04
25,00	0,07	0,05
30,00	0,12	0,08
35,00	0,16	0,11



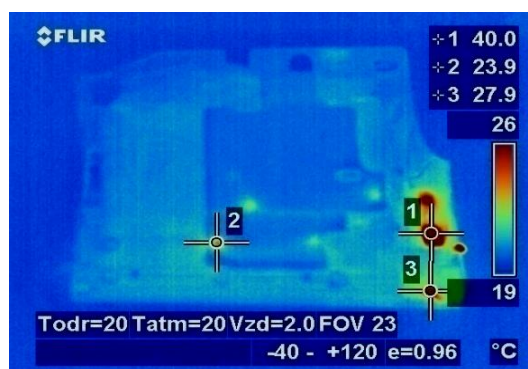
Graf 5 Závislost deformace v horní části víka na velikosti dotlačující síly



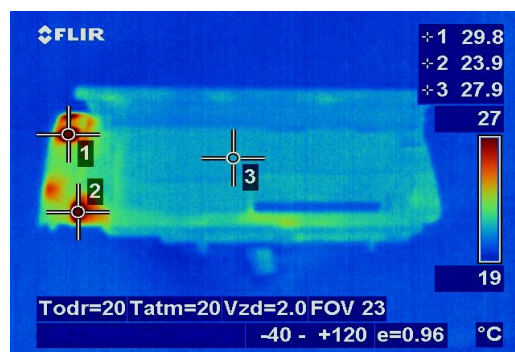
Graf 6 Závislost deformace v dolní části víka na velikosti dotlačující síly

5.1.1 Analýza svařence prostřednictvím termokamery po aplikaci nových dílů svařovacího lože

Po aplikaci mosazné lišty a nového dílu základacího lože proběhla série zkušebního svařování, během kterého se sledoval vývoj spáry mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky. Měření dílu termokamerou proběhlo až po svaření série 50 ks. Z následujících obrázků (obr. 64, 65) lze vidět, že teplota dílu po vyjmutí ze svařovacího lože byla o 30 % nižší než při měření dílu, který byl vyjmut ze svařovacího lože před touto úpravou.

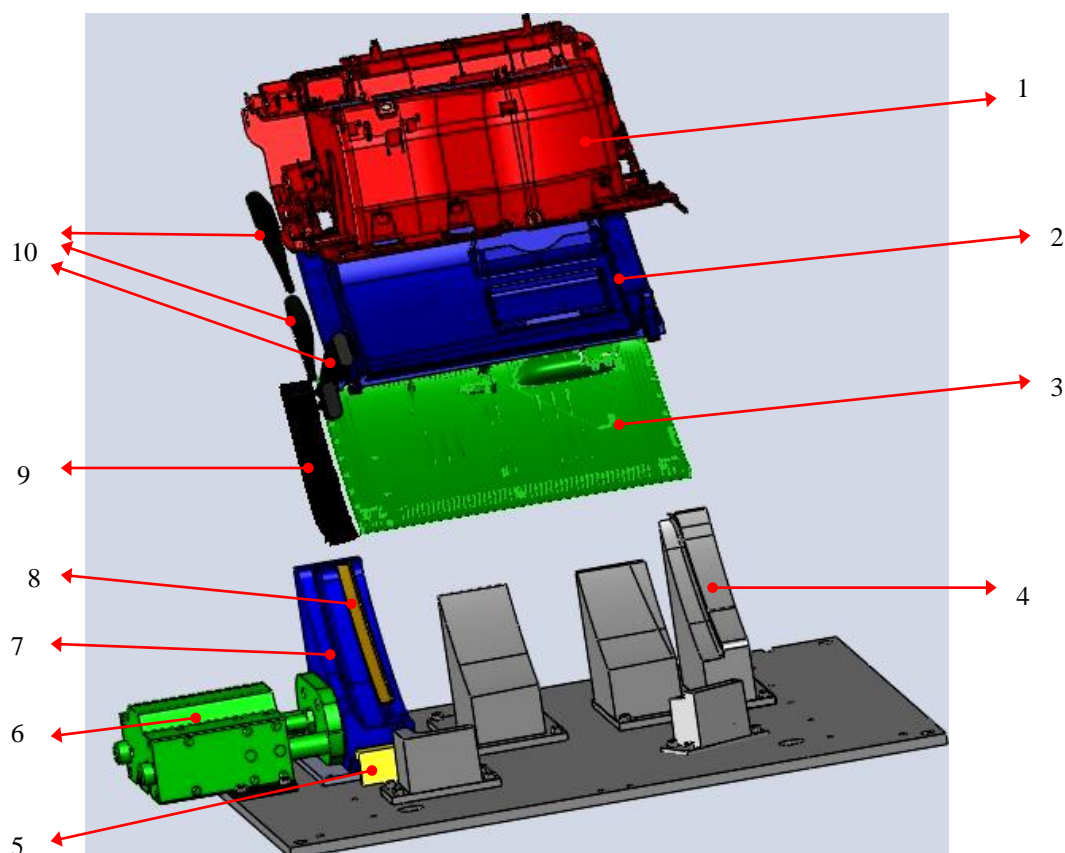


Obr. 64 Pohled na díl ze spodní strany (tam, kde probíhá rozvaření vlastních pinů) po aplikaci nové části svařovacího lože a mosazné lišty



Obr. 65 Pohled do otevřené schránky ihned po svaření po aplikaci nové části svařovacího lože a mosazné lišty

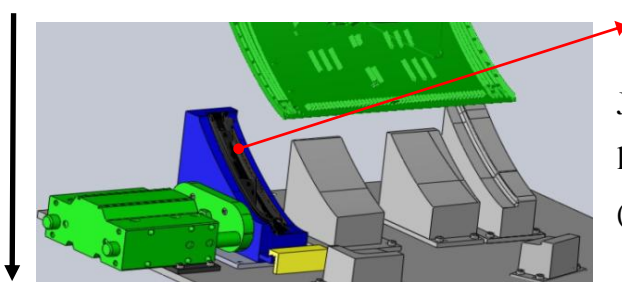
6 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ



Obr. 66 Výsledné konstrukční řešení svařovacího lože

- 1 Hlavní část těla odkládací schránky spolujezdce
- 2 Vnitřní víko odkládací schránky
- 3 Vnější víko (vzhledová část) odkládací schránky
- 4 Původní část svařovacího lože
- 5 Kluzné uložení pro novou část svařovacího lože
- 6 Vzduchový pracovní píst
- 7 Nová část svařovacího lože
- 8 Rozpěrná mosazná lišta mezi bočnicí a víkem odkládací schránky
- 9 Bočnice – blenda (vzhledová část)
- 10 Svařovací sonotrody

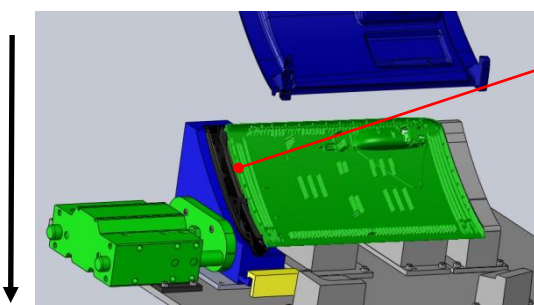
Postup založení jednotlivých plastových dílů do základacího lože svařovacího stroje a jejich následné svaření.



Bočnice založená do svařovacího lože

Jako první plastový díl je do svařovacího lože vlevo vložena bočnice (blenda) (obr. 67).

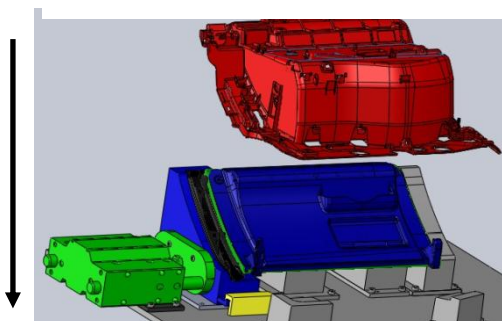
Obr. 67 Bočnice založená do svařovacího lože



Zde se nachází mosazná rozpěrná lišta

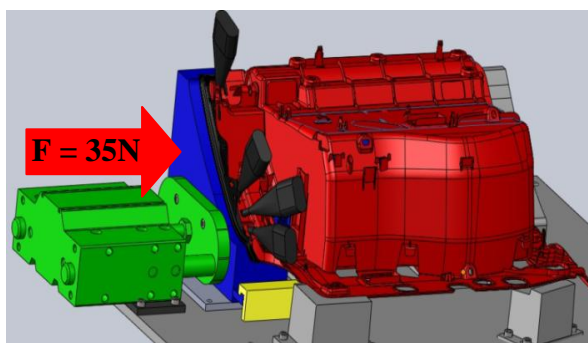
Následně operátor výroby založí druhý díl, jímž je vnější víko odkládací schránky. Mezi vnějším víkem a bočnicí se nachází rozpěrná mosazná lišta, která zajišťuje stejnou spáru mezi oběma díly (obr. 68).

Obr. 68 Bočnice a vnější víko odkládací schránky vložené do lože



Třetím dílem sestavy je vnitřní víko odkládací schránky, které je zacvaknuté do vnějšího vzhledového víka (obr. 69).

Obr. 69 Třetí díl sestavy - vnitřní víko odkládací schránky

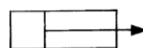


Posledním dílem sestavy je tělo odkládací schránky. Po jeho usazení do lože dojde k dotlačení celé sestavy z levé strany (ve směru červené šipky) za pomoci vzduchového pístu, následně sjedou do pracovní pozice sonotrody a dojde k rozvaření plastových pinů a žeber (obr. 70).

Obr. 70 Komplet ní sestava se sjetými sonotrodami do svařovací polohy

6.1 VÝPOČET TLAKU VZDUCHU

Sílu, kterou vyvine pneumatický válec, určuje plocha pístu, která je daná jeho průměrem, tlakem vzduchu a odpory, způsobené třením vedení a těsnění pístu a pístnice. Pro skutečnou sílu pneumatického válce, průměr válce a provozní tlak platí následující vztahy:



Výpočet tlaku vzduchu:

$$p = \frac{F_1}{\frac{\pi}{4} \cdot D^2} \quad (1)$$

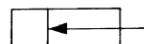
$$p = \frac{35}{\frac{\pi}{4} \cdot 40^2} = 0,028 \text{ MPa}$$

Kde:

F_1 [N].....teoretická síla při vysouvání pístnice

D [mm]..... průměr válce

p [MPa].....provozní tlak



Teoretická síla při zasouvání pístnice:

$$F_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot p \quad (2)$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (40^2 - 20^2) \cdot 0,028 = 8,8 \text{ N}$$

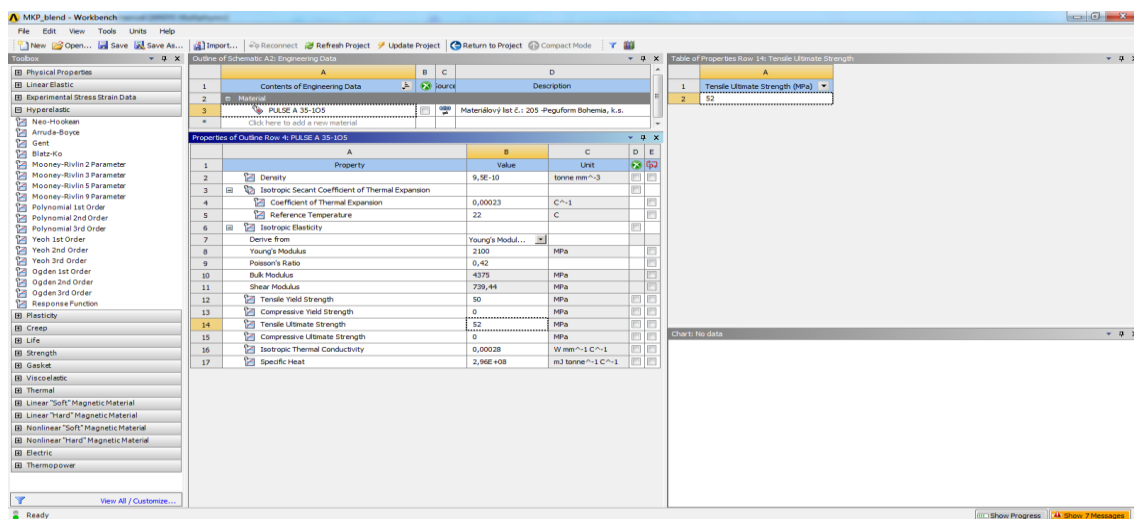
Kde:

F_2 [N]..... teoretická síla při zasouvání pístnice

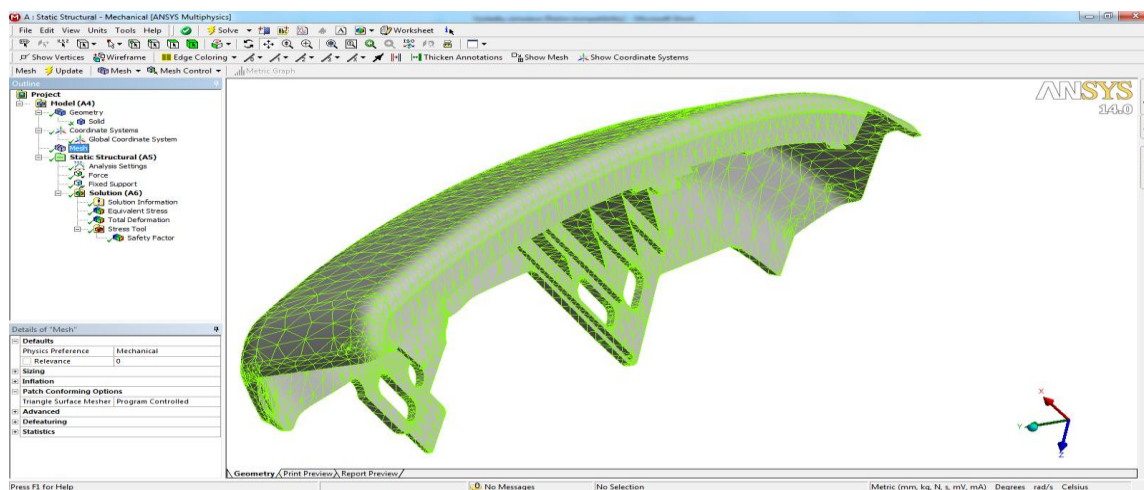
d [mm]..... průměr pístnice

7 DEFORMACE BLENDY V SIMULAČNÍM SOFTWARE ANSYS

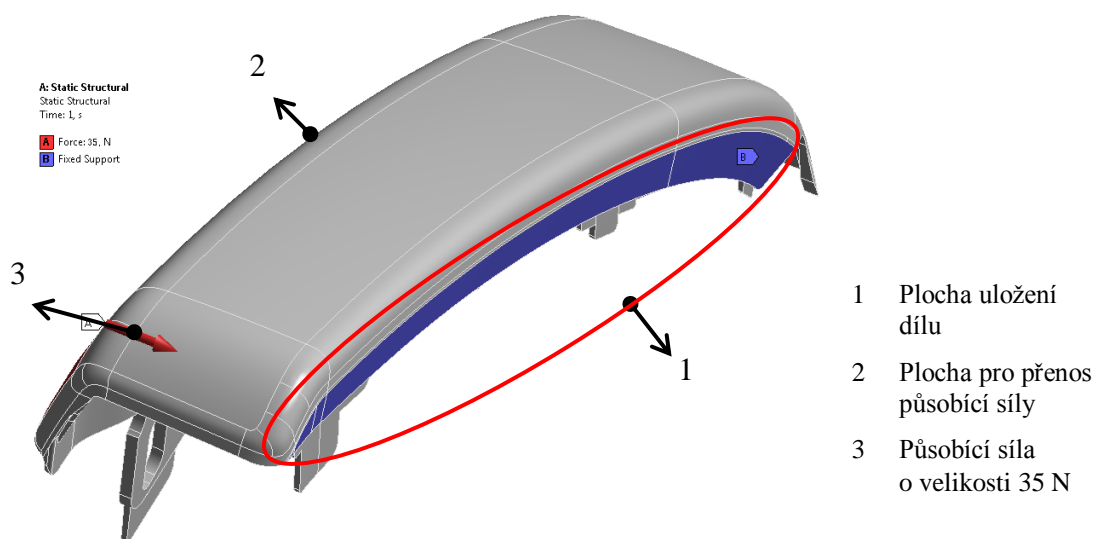
Cílem analýzy byla kontrola napětí a deformace bočnice. Geometrický model byl načten ve formátu iges. V ANSYS Workbench byly provedeny potřebné úpravy a byla vytvořena síť konečných prvků (obr. 72). Na základě materiálového listu (příloha 1) analyzovaného dílu, byly definovány mechanické vlastnosti materiálu Pulse A 35-105 v prostředí ANSYS Workbench (obr. 71).



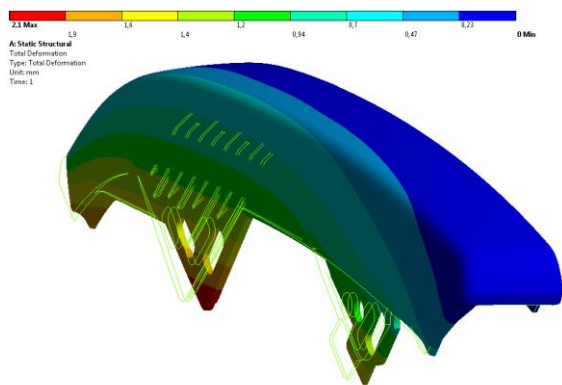
Obr. 71 Definování mechanických vlastností materiálu Pulse A 35-105 v prostředí ANSYS Workbench



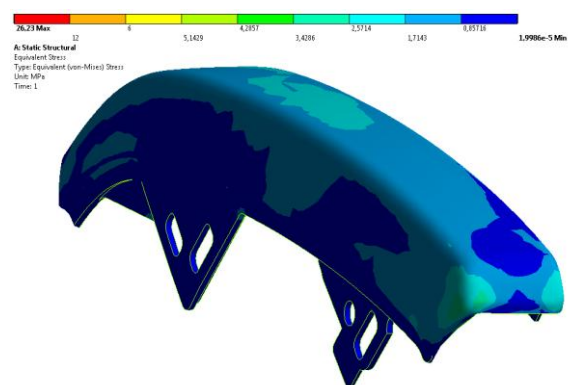
Obr. 72 Simulační rozhraní programového software ANSYS Workbench – konečnoprvekový model



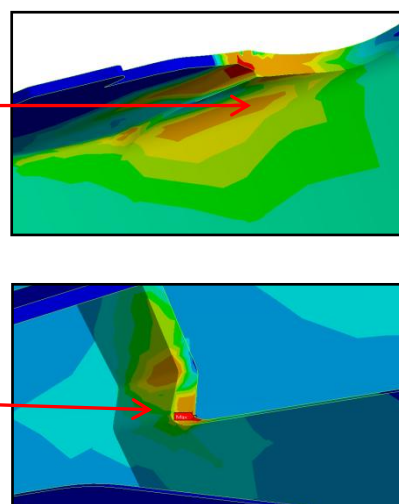
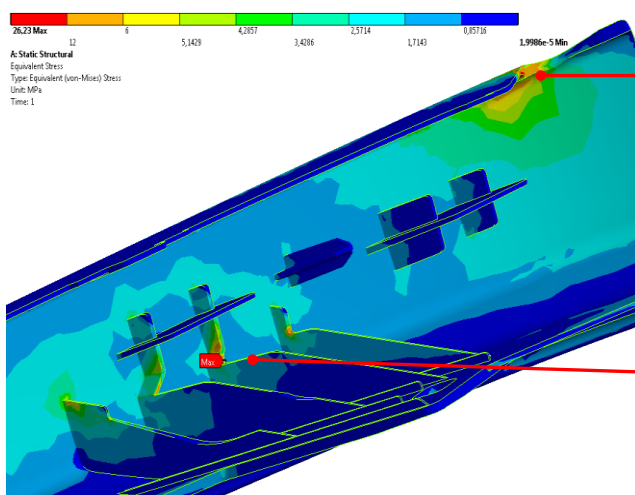
Obr. 73 Definování okrajových podmínek - zavedení uložení a působící síly



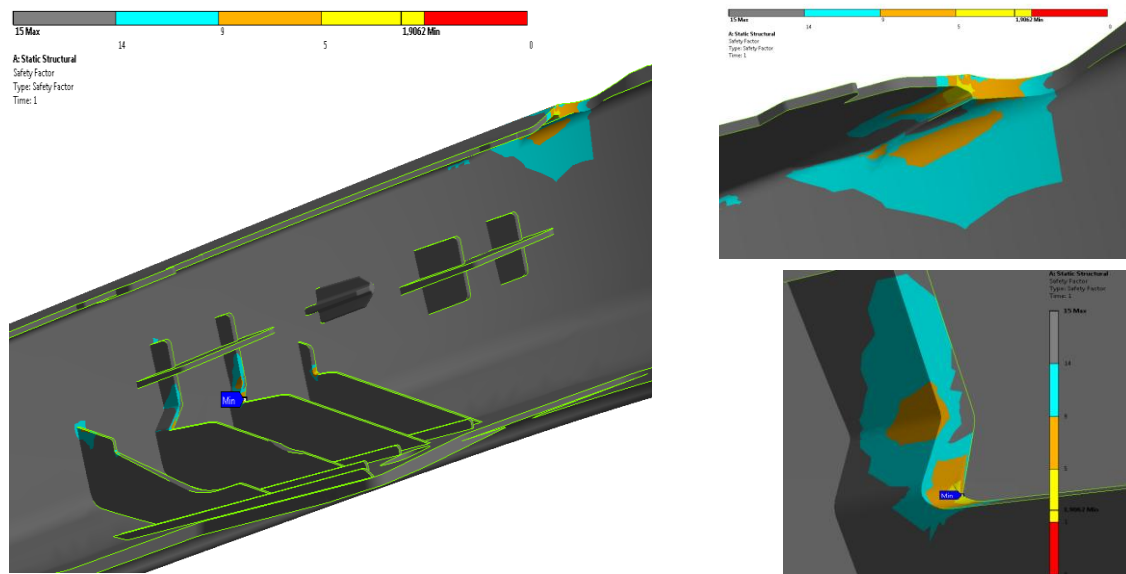
Obr. 75 Rozložení průběhu přetvoření



Obr. 74 Rozložení průběhu napětí podle hypotézy HMM (Huber, Mises, Hencky)



Obr. 76 Maximální napětí podle hypotézy HMM = 26,23 MPa



Obr. 77 Rozložení minimální bezpečnosti $K=1,9$

8 VYČÍSLENÍ FINANČNÍ ÚSPORY



Obr. 78 Kompletní svařenec odkládací schránky spolujezdce ve vozidle Audi B8

Závěrem celého projektu bude vyčíslena finanční úspora, která byla dosažena po aplikaci nové části základacího lože a rozpěrné mosazné lišty.

Projektová plánovaná zmetkovitost byla stanovena do 1%.

Skutečná zmetkovitost ve výrobě na tomto svařovacím stroji byla 5,4%.

Po aplikaci projektu inovace upínacího mechanismu a základacího lože byla snížena zmetkovitost v průměru o 3,2%.

Cena kompletního dílu včetně režijních nákladů činí 405 Kč.

Počet vyrobených kusů za rok činí 195 000.

Původní náklady na zmetkovitost činily 4 264 650 Kč.

Po aplikaci inovace se náklady na zmetkovitost snížily na 1 737 450 Kč.

Roční úspora tak činí 2 527 200 Kč.

9 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývala problematikou spojenou s ultrazvukovým svařováním. Práce byla vytvořena pro firmu Magna Exteriors & Interieors (Bohemia) s.r.o., za účelem snížit zmetkovitost na ultrazvukovém svařovacím stroji firmy Branson a tím zároveň eliminovat reklamace ze strany zákazníka. V průběhu práce jsme se snažili odstranit vady na výrobku, jímž byla odkládací schránka spolujezdce ve vozidle Audi B8. Docházelo zde k nestejněměrné spáře a plošné návaznosti mezi bočnicí (blendou) a víkem odkládací schránky.

Úvod diplomové práce měl za úkol seznámit s technologií ultrazvukového svařování, s procesem vzniku ultrazvukových vln a přenosem těchto vln přes konvertory a sonotrody na díl. Následně byla popsána problematika výrobku. Bylo použito několik typů analýz (silová, rozměrová, tepelná), které nám ukázaly četnost výskytu vad v podobě nesouměrné spáry a souvislost mezi závislostí síly potřebné k uzavření víka odkládací schránky na velikosti spáry, která se nachází mezi bočnicí (blendou) a víkem.

Pomocí tepelné analýzy, při níž byla použita termokamera ThermoCAM P65, bylo zjištěno, že dochází k velkému tepelnému namáhání dílu v oblasti svaru a to i po dlouhém časovém úseku, kdy je díl vyjmut ze svařovacího lože a dochází tím k dodatečným deformacím dílu. Na základě tohoto zjištění, bylo provedeno opatření v podobě mosazné lišty, která byla vložena mezi víko odkládací schránky a bočnici (blendu). Mosazná lišta tak způsobila lepší odvod tepla z místa svaru a nedocházelo k následné deformaci dílu po vyjmutí ze svařovacího lože. Díl byl po vyjmutí ze svařovacího lože znovu prověřen termokamerou s velmi kladným výsledkem – došlo zde ke snížení teploty o 30%.

V další části jsme využili technologie 3D skeneru ATOS, který nám posloužil k porovnání současného tvaru lože s původními daty, které byly zadány firmě Branson k výrobě dosedací části základacího lože. Zjistili jsme, že současný stav neodpovídá požadovaným hodnotám tvaru. Odchylka tvaru jde do minusových hodnot právě v oblasti, kde dochází k rozvaření plastových pinů a žeber bočnice (blendy) k hlavní

části odkládací schránky. Tato odchylka způsobila prohnutí bočnice (blendy) při opření sonotrod o piny a žebra a tím došlo k jejímu vychýlení ze své dané pozice a ke vzniku nesouměrné spáry.

Na základě zjištěných údajů z předchozích měření byla aplikována úprava dosedací a upínací části základacího lože v podobě výroby nového dílu dosedacích ploch a rozpěrné lišty. Vložením mosazné lišty jsme zajistili stejnoměrnou spáru mezi víkem a bočnicí a také jsme dosáhli lepšího odvodu tepla ze svařované oblasti. Dále byla navržena změna upínání plastových dílů přidáním vzduchového pístu, který by nám zajistil a vymezil veškeré vůle mezi plastovými díly odkládací schránky. Abychom tento krok mohli realizovat, bylo by nutné změnit první dosedací část lože z pevné na pohyblivou za pomoci kluzného uložení.

Závěrem byla zhodnocena úspěšnost projektu vyčíslením finanční úspory, která ročně činila 2 527 200 Kč.

10 POUŽITÁ LITERATURA A ZDROJE

- [1] Firemní literatura – Magna Exteriors & Interieors (Bohemia) s.r.o.
- [2] LEINVEBER, J.; VÁVRA, P.: Strojnické tabulky. Úvaly: Albra, 2005. ISBN 80-736-01-6.
- [3] MAŠÍN, Ivan; ŠEVČÍK, Ladislav. *Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku*. 1. vyd. Liberec: IPI, 2006. ISBN 80-903533-0-4.
- [4] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled. 1. díl*. 2. dopl. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 158 s. ISBN 80-7083-938-4.
- [5] PEŠÍK, Lubomír. *Části strojů: stručný přehled. 2. díl*. 2. dopl. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005, 155 s. ISBN 80-7083-958-6.
- [6] PETRŮ, M.; NOVÁK, O.; LEPŠÍK, P.: Increase of the efficiency of the production lines for the spinning of inorganic nanofibers by the electrostatic field intensity optimization. In *MM Science Journal*. 2012, s. 382–385. ISSN 1805-0476.
- [7] PETRŮ, M.; NOVÁK, O.; VEJRYCH, D.; LEPŠÍK, P.: FEM study of the strain kinematics in the 3D nanofibrous structure prepared by the electrospinning process. In *Applied Mathematics*. 2013, Vol. 4, No. 5A. ISSN 2152-7393.
- [8] PETRŮ, Michal. *Systémy řízení a optimalizace přispívající k energeticky efektivní výrobě v inovačním cyklu, Collaborative Engineering in the Innovation Cycle, International Conference Proceedings*. 1. vyd. Zlín, 2012 s. 103–110, ISBN 978-80-7372-938-7.
- [9] ŠEVČÍK, Ladislav. *PLM systém a principy návrhu výrobku*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 80-3897-945-7.
- [10] www.mcae.cz – 3D digitalizace a měření

SEZNAM PŘÍLOH

- [P1] Materiálový list č.: 205
- [P2] Technické informace pneumatických pohonů firmy SMC
- [P3] Výkres sestavy
- [P4] Výkres bočnice (blendy)
- [P5] Výkres vnějšího víka odkládací schránky
- [P6] Výkres vnitřního víka odkládací schránky

PŘÍLOHY

Materiálový list č.: 205		Peguform Bohemia, k.s.	
Název materiálu: PULSE A 35-105			Druh: PC/ABS
VLASTNOSTI	Měrné jednotky	Měřeno	Prospekt
Fyzikální			
Hustota	g/cm ³	0.0	1.12
Smrštění na desce 50x50 mm 2mm -a rovnob.2mm -b kolmo4mm -a rovnob.4mm -b kolmo3mm -a rovnob.3mm -b kolmoTtav=290 [°C]	%	0.730.820.840.91_ _	0.3-0.7
Technologické			
Index toku taveninyteplota 260.0 [°C]zatížení 50.0 [N]	g/10 min	16.2	12
Zákl. vtrhik. teplotaTZ při 20.0 [cm]	°C	247.0	—
Mez kluzu	MPa	—	52.0
Pevnost v tahu	MPa	0.0	50.0
Prodloužení při přetržení :: Graf: 1	%	0.0	80.0
Modul pružnosti v ohybu	MPa	2033.0	2100.0
Rázová houževnatost CHARPY T1 = 23 [°C]T2 = _ [°C]T3 = -40 [°C]	kJ/m ²	N_ _	N_ N
Vrubová houževnatost CHARPY T1 = 23 [°C]T2 = _ [°C]T3 = -40 [°C]	kJ/m ²	21.2H_ _	352820
Tepelné			
Odolnost za tepla VICATA 50B 50	°C	134.0123.0	0.0122.0
Odolnost za tepla VICATA 120B 120	°C	0.00.0	142.00.0
Teplota průhybu ISO 75 (HDT)A při 1,8 MPaB při 0,45 MPa	°C	0.00.0	105.0126.0
PARAMETRY PRO ZPRACOVÁNÍ			
Minimální vstřikovací teplota T min	°C	0.0	260.0
Maximální vstřikovací teplota T max	°C	0.0	300.0

Teplota formy Min.	°C	80.0	70-90
Teplota formy Max.	°C	–	–
Sušení teplota / časvrstva materiálumax. obsah vody	°C/hod cm %	110/43.0_	_ 0.0_
CLTE 23°C - 80°C	$\times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$	–	–
Materiálový list č.: 205		Peguform Bohemia, k.s.	
Název materiálu: PULSE A 35-105			Druh: PC/ABS
OSTATNÍ			
<p>Povrchový vzhled zkušebních destiček nebo výrobku: Desticky jsou poleštěné, bez deformace.</p>			
POZNÁMKY			
<p>1) Hodnocení materiálu je prováděno dle návodu pro všechny zkoušky, který je zpracován pod názvem Skladba protokolu s platností od 1.1.1988.2) N=zkusební tělesa při zkoušce nepraskla3)H=kloubový lom</p>			
Provozní zkoušky:			

Projekty: (použití materiálu na projektech)

P-07-02 - Škoda - A5 SUV (SK 316) - přístrojová deska P-06-08 - PSA - A58 - přístrojová deska P-03-06 - Audi - B7 USA - Miko

SPIRÁLOVÁ ZATĚKAVOST

Materiál: PULSE A 35-105

Tlak v hydraulice: 6 [MPa]

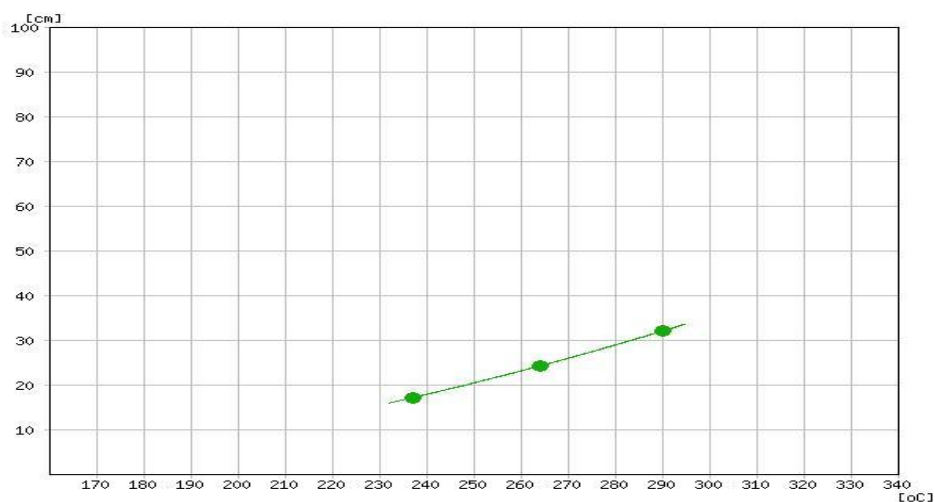
Teplota formy: 80.0 [°C]

Tloušťka spirály: 2 [mm]

Šířka spirály: 8 [mm]

Průměr vtoku: 3 [mm]

Graf spirálové zatékavosti



Body křivky 2: [17.3,237.0] [24.4,264.0] [32.2,290.0]

Technické informace - pneumatické pohony



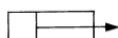
Pneumatické pohony převádějí energii stlačeného vzduchu na lineární či rotační pohyb.

Faktory pro výběr vhodného pohonu:

- jednočinný nebo dvočinný
- standardní rozměry nebo speciální provedení
- požadovaná síla (průměr pístu)
- potřebná délka pohybu (zdvih)
- prostředí ve kterém má pohon pracovat
- hodnoty stlačeného vzduchu pro napájení pohonu
- pohon s tlumením nebo bez tlumení v koncových polohách
- pohon pro vysoké nebo nízké rychlosti
- okolní teplota
- snímání polohy pohonu

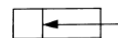
Užitečné výpočty - teoretická síla pneumatického válce

-při vysouvání pístnice



$$F = \frac{\pi \times D^2}{4} \times p$$

-při zasouvání pístnice



$$F = \frac{\pi \times (D^2 - d^2)}{4} \times p$$

kde

F...síla [N]

D...průměr pístu [mm]

d...průměr pístnice [mm]

p...tlak [MPa]

Teoretická síla při vysouvání pístnice [N]

Průměr pístu [mm]	Tlak [MPa]									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
2,5	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,95	3,44	3,93	4,42	4,91
4	1,26	2,51	3,77	5,03	6,28	7,54	8,80	10,05	11,31	12,57
6	2,83	5,65	8,48	11,31	14,14	16,96	19,79	22,62	25,45	28,27
8	5,03	10,05	15,08	20,11	25,13	30,16	35,19	40,21	45,24	50,27
10	7,85	15,71	23,56	31,42	39,27	47,12	54,98	62,83	70,69	78,54
12	11,3	22,6	33,9	45,2	56,5	67,9	79,2	90,5	101,8	113,1
16	20,1	40,2	60,3	80,4	100,5	120,6	140,7	160,8	181,0	201,1
20	31,4	62,8	94,2	125,7	157,1	188,5	219,9	251,3	282,7	314,2
25	49,1	98,2	147,3	196,3	245,4	294,5	343,6	392,7	441,8	490,9
32	80,4	160,8	241,3	321,7	402,1	482,5	563,0	643,4	723,8	804,2
40	126	251	377	503	628	754	880	1005	1131	1257
50	196	393	589	785	982	1178	1374	1571	1767	1963
63	312	623	935	1247	1559	1870	2182	2494	2806	3117
80	503	1005	1508	2011	2513	3016	3519	4021	4524	5027
100	785	1571	2356	3142	3927	4712	5498	6283	7069	7854
125	1227	2454	3682	4909	6136	7363	8590	9817	11045	12272
140	1539	3079	4618	6158	7697	9236	10776	12315	13854	15394
160	2011	4021	6032	8042	10053	12064	14074	16085	18096	20106
180	2545	5089	7634	10179	12723	15268	17813	20358	22902	25447
200	3142	6283	9425	12566	15708	18850	21991	25133	28274	31416
250	4909	9817	14726	19635	24544	29452	34361	39270	44179	49087
300	7069	14137	21206	28274	35343	42412	49480	56549	63617	70686

Tyto výpočty platí pro standardní válec s jednostrannou pístnicí. U válce s oboustrannou pístnicí je hodnota teoretické síly v obou směrech pohybu stejná (výpočet teoretické síly dle vzorce pro zasouvání pístnice).

Při výpočtu skutečné (efektivní) síly válce musíme brát v potaz tlakové ztráty (např. v přívodních hadicích a šroubech) a tření ve válci. Proto budeme uvažovat efektivní sílu válce jako 80% síly teoretické. Pro aplikace s vyššími rychlostmi pohonů pak 70%.